



Krista Niemi

TYÖMAATOTEUTUKSEN LAATU ENERGIA TEHOKKAASSA PIENTALORAKENTAMISESSA

TYÖMAATOTEUTUKSEN LAATU ENERGIA TEHOKKAASSA PIENTALORAKENTAMISESSA

Krista Niemi
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, talon- ja korjausrakentaminen

Tekijä: Krista Niemi

Opinnäytetyön nimi: Työmaatoteutuksen laatu energiatehokkaassa pientalorakentamisessa

Työn ohjaaja: Seppo Perälä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013

Sivumäärä: 99

Tämän opinnäytteen tavoitteena on tutustua energiatehokkaiden pientalojen rakentamiseen ja luoda sitä kautta mielikuva siitä, millä tasolla pientalotyömaiden laatu on ja mitkä ovat keskeisimmät toteutusvaiheen ongelmat. Työssä perehdytään energiatehokkaan rakentamisen tärkeimpiin teknisiin laatutekijöihin sekä niiden oikeaoppiseen työmaatoteutukseen. Rakentamisen laatua arvioidaan seuraamalla energiatehokkaiden pientalojen työmaatoteutusta ja vertaamalla kerättyjä havaintoja virheettömältä rakentamiselta vaadittuun laatuun. Työ on osa Pohjoismaista IEEB (Increasing Energy Efficiency in Buildings) -hanketta, jonka puitteissa tarkkailukohteena toimiva energiatehokkaiden pientalojen tutkimus- ja kehityskohde, Energiatehokkuuskortteli rakennetaan.

Saatujen tulosten perusteella pientalotyömaiden henkilöstön ammattitaito ja osaaminen ovat tasoltaan hyviä, eikä merkittäviä laadunvarmistustoimia tai työntekijöiden koulutusta ole tarpeen lisätä. Osaamisen ylläpitoon ja täydennyskoulutukseen tulee kuitenkin panostaa vastaisuudessa. Työmaan kosteudenhallinnassa sen sijaan havaittiin jonkinasteisia puutteita koko havainnointijakson ajan. Kosteudenhallinnan merkityksen korostaminen ja suojauskäytäntöjen yhtenäistäminen ovat välttämättömiä, jotta olosuhdehallinta saadaan riittävän hyvälle tasolle energiatehokkaiden pientalojen turvalliseen toteuttamiseen.

Työn tulokset antavat viitteitä energiatehokkaiden pientalojen toteutusvaiheen kehityskohtien paikantamiseen sekä eri osa-alueiden yksityiskohtaisempaan tarkasteluun. Tietoa ja havainnointiaineistoa saatiin kerättyä ulkopuolisen havainnoitsijan toimesta kattavasti, mutta tiiviimpi, lähes päivittäinen tarkkailu olisi kuitenkin toimivin keino toteutusvirheiden välttämiseen ja rakentamisvaiheen onnistumisen luotettavaan arviointiin. Pientalotyömaat ovat aina toimineet melko itsenäisesti, mutta energiatehokkaan rakentamisen myötä laadunvalvontaa olisi syytä tehostaa ja muuttaa ammattimaisemmaksi myös pientalorakentamisessa. Työntekijöiden itsensä suorittama määrämuotoinen, dokumentoitava laaduntarkkailu esimerkiksi kriittisten työvaiheiden tarkastuslistojen avulla voisi olla seuraava askel pientalotyömaiden laadun kehittämisessä.

Asiasanat: Energiatehokkuus, pientalo, työmaatoteutus, laadunhallinta, kosteudenhallinta, ilmanpitävyys, lämmöneristävyys

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, House Building and Renovation

Author: Krista Niemi

Title of thesis: Quality of Construction Site Work in Building Energy Efficient Detached Houses

Supervisor: Seppo Perälä

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2013 Pages: 99

Quick development of energy efficient buildings has brought and will bring a lot of changes to the construction industry. Challenging details and new materials will create pressures to the construction, because the flaw tolerance of energy efficient structures is weak and the building phase needs to be flawless.

The object of this thesis is to become acquainted with the building of energy efficient detached house and to create a view of the quality and the most significant problems at a construction site. This work studies the most important quality factors in energy efficient buildings and how to execute the key factors flawlessly at the construction site. The quality of the construction is estimated by following the construction process of four energy efficient detached houses and by comparing the collected observations with the quality standards that are required of a faultless level of construction. The work is a part of the Nordic IEEB (Increasing Energy Efficiency in Buildings) -project and the pilot block of energy efficient houses that was observed in this work, was built as part of the project.

Based on the observations made in this study, the building skills and knowledge of the staff at the construction site are at good level. Some mistakes, probably caused by negligent workers were noticed, but no significant actions in the quality management are necessary. Instead the moisture control at the construction site requires instant actions. It is necessary to emphasize the significance of moisture control and to unify the weather proofing practices to reach the level of the quality needed in energy efficient buildings.

The results of the work give references to locating the sections that require developing on the construction sites of energy efficient houses and to the more detailed examination of different quality factors. Within the IEEB-project the quality of construction is probably better than in average, but there still was some need for development. There is still a demand to develop the quality assurance actions and supervision of construction of detached houses. It is also important to study the matter in more detail, for example by using a closer, almost daily observation method in evaluating quality at the construction site.

Keywords: Energy efficiency, detached house, construction site, quality control, moisture management, air tightness, thermal insulation

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 RAKENNUSTEN ENERGIAEHOOKKUUS	8
2.1 Energiatehokas pientalo	10
2.2 Energiatehokkaan rakentamisen haasteet	12
3 ENERGIAEHOOKKUUSKORTTELI	14
4 ONNISTUNEEN TYÖMAATOTEUTUKSEN AVAINTEKIJÄT	20
4.1 Rakennusosien lämmöneristys	21
4.2 Kylmäsillat	29
4.3 Rakennusvaipan ilmanpitävyys	32
4.4 Työmaan kosteudenhallinta	46
4.5 Laadunvalvonta ja työmaan laadunvarmistus	51
5 LAADUN TOTEUTUMINEN TARKKAILUKOhteissa	55
5.1 Tarkkailuprosessin toteutus	55
5.2 Havainnot ja päätelmät työmaatoteutuksen laadusta	57
5.2.1 Lämmöneristysten toteutus	57
5.2.2 Kylmäsillat ja suunnitelmien mukainen työmaatoteutus	62
5.2.3 Ilmatiiviyden toteutus	64
5.2.4 Työmaan kosteudenhallinnan toteutuminen tarkkailukohteissa	74
5.2.5 Laadunvalvonta ja laadunvarmistustoimet tarkkailukohteissa	80
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	82
7 POHDINTA	88
LÄHTEET	93

1 JOHDANTO

Energiatehokas rakentaminen on energian hinnan nousun, ilmastonmuutoksen ja tulevaisuuden suurten energiansäästötavoitteiden luoma kehityssuunta, joka tulee olemaan tärkeä osa tulevaisuuden rakentamista. Energiatehokkaiden pientalojen tekeminen ei vaadi suuria lisäinvestointeja, mutta rakennusprosessin saumaton eteneminen ja työmaan laadunhallinta nousevat entistä keskeisempään rooliin. Paksummat seinärakenteet, uudet rakenneratkaisut sekä talotekniikan ja automaation lisääntyminen asettavat rakentamisvaiheeseen uusia haasteita, sillä rakenteiden työvirheiden sietokyky on energiatehokkaassa rakentamisessa tavanomaista pienempi. Työntekijöiltä vaaditaan taitoa toteuttaa rakenteet virheettömästi ja kriittiset tekijät tiedostaen. (1, s. 2–3.) Muutokset ovat kuitenkin tulleet nopeasti, eikä ole varmaa, onko henkilöstön osaaminen ja työmaatoteutuksen laatu vielä riittävällä tasolla energiatehokkaiden pientalojen turvalliseen rakentamiseen (2).

Tämä työ on osa vuonna 2010 käynnistynyttä Pohjoismaista IEEB (Increasing Energy Efficiency in Buildings) -hanketta, jonka suomalaisen osapuolen, Oulun seudun ammattikorkeakoulun, tarkoituksena on energiatehokkaan rakentamisen rakenneratkaisujen ja testauskäytäntöjen kehittäminen. Yksi kolmivuotisen hankkeen keskeisistä päämääristä on siirtää saatu tietotaito valmista luteollisuuteen ja näin kannustaa yrityksiä energiatehokkaaseen rakentamiseen. Hankkeen puitteissa toteutetaan Ouluun seitsemän pientalon Energiatehokkuuskortteli, jonne halukkaat yhteistyökumppaniyritykset rakentavat energiatehokkaan pientalon valitsemillaan suunnitteluratkaisuilla. Korttelin kohteisiin asennetaan myös monipuolista mittauslaitteistoa yhteistyössä Oulun seudun ammattikorkeakoulun kanssa. (3.)

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia energiatehokkaiden pientalojen rakentamisen laatua ja rakentamisvaiheen työaikaista laadunhallintaa. Keskeisenä ajatuksena on paikantaa mahdollisia työ- ja toimintatapoja, jotka voivat heikentää valmiin rakennuksen teknistä laatua tai altistaa sen vaurioille, sekä huomioida osa-alueita, jotka ovat työmaalla erityisen hyvin hallussa. Työssä tarkkaillaan pientalon rakennusprosessin laatua erityisesti rakennusvaipan toteuttamisen

osalta, eikä talotekniikkajärjestelmiä ja rakennuksen suunnitteluratkaisuja tässä yhteydessä käsitellä. On kuitenkin tärkeää muistaa, että lähtökohdat energiatehokkaan rakennuksen laadulle asetetaan jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Työn ulkopuolelle on jätetty myös loppukäyttäjän opastus rakennuksen energiatehokkaaseen käyttöön, sillä työmaatoteutusvaiheessa ei opastuksen laatuun voida juurikaan vaikuttaa. Suunnittelu- ja toteutusvaiheen päätyminen ei kuitenkaan lopeta laadunhallintaa, vaan vastuu siirtyy loppukäyttäjälle.

Opinnäytetyö toteutetaan seuraamalla tiiviisti Energiatehokkuuskorttelin rakentamista. Korttelin työmailla vierailaan säännöllisesti keräten havainnointiaineistoa valokuvien, muistiinpanojen ja haastattelujen muodossa. Rakentamisvaiheen etenemistä dokumentoidaan myös projektin sisäistä blogia kirjoittamalla. Saatujen tulosten perusteella arvioidaan, miten energiatehokkaalta rakentamiselta vaaditut laatutavoitteet ovat kohteissa toteutuneet. Tavoitteena on pohtia kriittisesti, onko rakennusvaiheen laatu nykyisellään riittävällä tasolla energiatehokkaiden pientalojen riskittömään rakentamiseen vai tarvitaanko rakentamisvaiheeseen vielä lisää koulutusta, tehokkaampaa laadunhallintaa tai uusia työtapoja. Työssä saatavien tuloksien tarkoituksena ei ole esittää absoluuttista totuutta energiatehokkaan rakentamisen tasosta, vaan luoda näkymää pientalorakentamisen työmaatoteutuksen nykyiseen tasoon ja mahdollisiin toteutuksen ongelmakohtiin.

2 RAKENNUSTEN ENERGIA TEHOKKUUS

On yleisesti tiedossa, että maapallon uusiutumattomat energiavarat ovat ehtymässä. Ihmisen vaikutus ilmastomuutokseen on niin ikään tunnustettu ja uskotaan, että jos toimiin kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi ei ryhdytä heti, on pian edessä ympäristökriisi. Fossiilisten polttoaineiden käyttöä ei ympäristöllisistä ja taloudellisista syistä voida enää järkevästi lisätä ja energian hinta onkin noussut tasaisesti jo pitkään. (4, s. 10, 80.) Jos energian tarvetta ei onnistuta vähentämään, ennustetaan energian hinnan nousun jatkavan kasvuaan edelleen, mikä ohjaa valtioita yhä mittavampiin energiansäästöoperaatioihin ja kannustaa uusiutuvien energialähteiden käyttöön (5, s. 27).

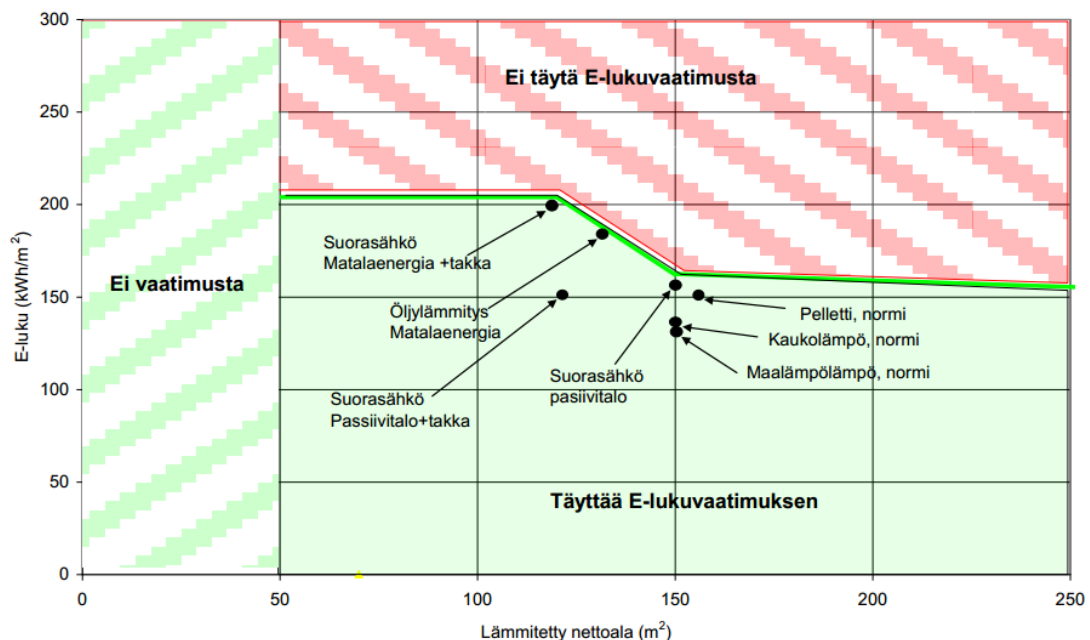
Rakennuksiin ja rakentamiseen kuluva energia kattaa lähes puolet Euroopan unionin kokonaisenergiankulutuksesta. Myös Suomessa yli 40 % kaikesta energiakulutuksesta käytetään rakennusten ylläpitoon ja rakentamiseen. Rakentamisessa tuotettujen kasvihuonepäästöjen osuus on lähestulkoon yhtä suuri. On siis luontevaa pyrkiä vähentämään rakennusten energiantarvetta ja kasvattamaan uusiutuvien energialähteiden käytön osuutta asuinrakennusten lämmityksessä ja sähköntuotossa. (6, s. 24.)

Euroopan Unioniin kuulumisen myötä Suomi on sitoutunut ilmastotavoitteisiin energiankulutuksen vähentämiseksi, uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämiseksi ja ilmastomuutoksen hillitsemiseksi. Suurin yksittäinen säästöpotentiaali energiankäytön vähentämisessä on rakennuskannan energiatehokkuuden merkittävä parantaminen. Tästä johtuen Euroopan Unionissa on toukokuussa 2010 annettu direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta, jonka yhtenä tavoitteena on, että vuoden 2021 alusta kaiken uudisrakentamisen täytyy olla lähellä nollaenergiarakentamista. Direktiivissä lähes nollaenergiarakennuksella tarkoitetaan erittäin energiatehokasta rakennusta, jonka tarvitsema hyvin vähäinen energian määrä on laajalti katettu uusiutuvista energialähteistä peräisin olevalla energialla. (7, s. 13, 18–21.)

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin seurauksena Suomen ympäristöministeriö on antanut uudet, uudisrakentamista koskevat energiamääräykset, jotka

ovat astuneet voimaan 1.7.2012. Määräykset pitävät sisällään kolme energiatehokkuuteen liittyvää keskeistä muutosta: rakennusten energiatehokkuudessa siirrytään kokonaisenergiatarkasteluun, käyttöön otetaan uusiutuvan energian käyttöön kannustavat energiamuotojen kertoimet ja rakennusten energiatehokkuutta parannetaan noin 20 % nykyisestä tasosta. Vuoden 2010 määräyskokoelman lämpöhäviöiden vertailuarvot säilyvät kuitenkin ennallaan. (8.)

Uudet määräykset lisäävät merkittävästi rakennusten suunnitteluvapautta, sillä kokonaisenergiatarkastelun myötä ei energiatehokkuutta mitata enää pelkästään yksittäisten rakennusosien U-arvoja ja ilmanvaihdon lämpöhäviöitä vertailemalla, vaan tarkastelussa huomioidaan lisäksi käytetyn energian tuotantomuoto ja talotekniikan energiatehokkuus. Esimerkiksi taloon valittu sähkölämmitysjärjestelmä voi asettaa korkeamman vaatimustason rakenteiden lämmöneristävyydelle. Rakennuksen energiatehokkuus ilmaistaan E-lukuna, joka kertoo rakennuksen standardikäytön vuotuisen kokonaisenergiakulutuksen pinta-alaa kohden (kWh/m^2). E-luvulle on määrätty rakennustyyppikohtainen yläraja, joka pientaloilla riippuu myös rakennuksen pinta-alasta (kuva 1). (8.)



KUVA 1. Pientalon pinta-alan ja valitun lämmitysmuodon vaikutus E-lukuvaatimukseen ja sen saavuttamiseen (8, dia 16)

Uudet energiatehokkuusmääräykset ja tieto määräystason jatkuvasta kiristymisestä ohjaavat rakentamaan energiatehokkaammin kuin voimassa olevat määräykset vaatisivat. Uudet suunnittelukäytännöt vaativat myös talotehtaita ja urakoitsijoita tarjoamaan kuluttajille kokonaisvaltaisempia, lämmitysmuodon huomioivia rakennuskonsepteja. Muutokset kannustavat rakennusalaan kehittymään ja luovat samalla edellytykset rakentamisen laadun parantamiselle. Energiatehokas rakentaminen tuo väistämättä mukanaan muutoksia ja edellyttää entistä parempaa kokonaisuuksien hallintaa kaikilta rakennusprosessiin osallistuvilta tahoilta. (9, s. 41; 10.)

2.1 Energiatehokas pientalo

Energiatehokkaalle rakennukselle ei ole olemassa virallista määritelmää tai laskennallisia arvoja, mutta yleisesti voidaan sanoa, että pientalo on energiatehokas, jos se kuluttaa vähemmän energiaa kuin juuri määräystason vaatimukset täyttävä rakennus. Tässä työssä tarkasteltavat pientalot on suunniteltu ennen vuoden 2012 rakentamismääräysuudistuksia, joten tässä yhteydessä energiatehokkaalla pientalolla tarkoitetaan rakennusta, jonka rakenneosien U-arvot ja E-luku täyttävät vähintään vuoden 2012 määräystason.

Pientalot voidaan kuitenkin luokitella erilaisiin rakennuskonsepteihin niiden energiankulutuksen, energiantarpeen ja/tai ohjeellisten teknisten tunnuslukujen perusteella. Teknisillä tunnusluvuilla tarkoitetaan rakennusvaipan eri osien U-arvoja, rakennusvaipan ilmanvuotolukua sekä ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja ominaissähkötehoa. (11, s. 33–34.)

E-lukuun siirtymisen myötä konseptien luokittelu on selkeintä tehdä rakennuksen energiankulutuksen perusteella, sillä kokonaisenergiatarkastelussa ei rakennuksen vaipparakenteiden ja ilmanvaihdon optimointi ole enää ainoa keino rakennuksen hyvän energiatehokkuusluokan saavuttamiseen. Esimerkiksi erittäin energiatehokkaan lämmitystavan valinnalla ja ilmatiiviillä rakennusvaipalla voidaan haluttaessa vaipparakenteet toteuttaa rakentamismääräyskokoelman minimivaatimusten mukaisesti. Rakennusosien lämmöneristävyyden parantaminen vähimmäistasosta on kuitenkin useimmiten suhteellisen edullista ja se

voidaan ajatella kannattavana panostuksena tulevaisuutta ja energian hinnan nousua ajatellen. (9, s. 13.)

Tunnetuimpia energiatehokkaita rakennuskonsepteja ovat matalaenergiatalo, passiivitalo, nollaenergiatalo ja plusenergiatalo. Konseptien määritelmät eivät ole yksiselitteisiä, sillä jako voidaan tehdä usealla eri tavalla, riippuen energiankulutuksen ja rakennuksen pinta-alan laskentatavasta, energiantarpeen määrittämisestä ja laskennan yksityiskohtaisuudesta. Määritelmät ja raja-arvot vaihtelevat jonkin verran sekä kansainvälisesti että Suomessa. Tähän työhön on valittu Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL:n Matalaenergiakäsikirjan mukainen primäärienergian, eli jalostamattoman luonnon energian, ominaiskulutukseen pohjautuva määrittelytapa. (12, s. 5–6.)

Matalaenergiarakennuksen käsite on jo jokseenkin vakiintunut. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 vuodelta 2010 määrittelee matalaenergiatalon rakennukseksi, jonka laskennallinen lämpöhäviö on korkeintaan 85 % määräysten vertailulämpöhäviöstä. Uudesta, vuoden 2012 D3:n osasta ei tätä määritystä kuitenkaan enää löydy, sillä kokonaisenergiatarkastelu koskee kaikkea rakennuksessa tapahtuvaa energiankulutusta, eikä rakennuksen energiatehokkuutta voida määritellä ainoastaan lämpöhäviöiden perusteella. (10; 13, s. 5; 14.) Matalaenergiarakennuksen vuotuinen primäärienergiankulutus saa olla enintään 180 kWh/(m²a) (11, s. 33).

Passiivitalolle ei ole vielä yksiselitteistä määritelmää, mutta tunnetuimmat passiivitalokonseptit ovat VTT:n määrittelemä suomalainen passiivitalo ja Keski-Euroopassa käytettävä saksalaisen Passivhaus Institutin määrittelemä sertifioitu passiivitalokonsepti. Määritelmät poikkeavat toisistaan lähinnä rakennuksen lämmitysenergiantarpeen ja suurimman sallitun energiankulutuksen perusteella, mutta ohjeelliset tekniset tunnusluvut ovat molemmissa rakennuksissa suuruusluokaltaan samanlaiset: esimerkiksi rakennuksen ilmatiiveysluku saa olla enintään 0,6 vaihtoa tunnissa. VTT:n määritelmän mukaisen passiivipientalon primäärienergiankulutus on < 130–140 kWh/(m²a) kun taas Passivhaus Institutin mukaisen passiivitalon energiankulutus saa olla enintään 120 kWh/(m²a). Tulee vielä huomata, että Saksassa rakennuksen pinta-alana käytetään nettoalaa, kun Suomalaisessa määritelmässä alana toimii bruttoala. (11, s. 287; 12, s. 6.)

RIL:n Matalaenergiakäsikirja luokittelee nolla- ja plusenergiatalot ostoenergian kulutuksen mukaan. Nollaenergiatalossa vuosittain tuotettu sähkön ja lämmön uusiutuvan omaenergian määrä vastaa kokonaiskulutusta, jolloin ostoenergian määrä on 0 kWh/(m²a). Käytännössä vuoden 2021 tavoite, lähes nollaenergiarakentaminen, edellyttäisi mahdollisuutta syöttää energiaa valtakunnan verkkoon (9, s. 14). Plusenergiatalo puolestaan tuottaa uusiutuvaa energiaa enemmän kuin käyttää sitä, joten kokonaisenergiankulutuksen arvo on vuositasolla negatiivinen. (11, s. 30.)

2.2 Energiatehokkaan rakentamisen haasteet

Rakennusvaipan energiatehokkuuden parantaminen edellyttää lähes kaikissa nykyisin käytössä olevissa rakenteissa jonkinasteisia muutoksia. Muutosten suuruus riippuu rakennetyypin lisäksi myös rakennuskonseptista, sillä muutoksia on yleensä sitä enemmän, mitä energiatehokkaammaksi rakennusvaippa on suunniteltu. Rakenteiden dimensiot muuttuvat eristepaksuutta kasvatettaessa, mikä tarkoittaa nykyisten runkorakenteiden paksuuntumista, täysin uudenlaisten rakenneratkaisujen suunnittelua ja tehokkaampien lämmöneristeiden käyttöä ratkaisuisissa, joissa niitä ei ole vielä aikaisemmin hyödynnetty. Nopeasti tulleet rakenteiden, materiaalien ja detaljien muutokset vaativat huolellista rakentamista sekä uusien taitojen opettelua. (15, s. 9.)

Lämmöneristykseen lisääminen tuo rakennettavuuden lisäksi muutoksia myös rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Erittäin energiatehokas rakennusvaippa pienentää lämpöhäviöitä rakenteiden läpi, minkä vaikutuksesta rakennusvaipan ulko-osat viilenevät ja niiden suhteellinen kosteus nousee. Kosteuden tiivistyminen rakenteisiin on todennäköisempää ja homeen kasvulle otolliset olosuhteet lisääntyvät. Lämpövirran vähenemisen myötä myös rakenteiden kuivumiskyky heikkenee, jolloin erityisesti kerrokselliset ja monimuotoiset rakenteet ovat haastavia suunnitella ja toteuttaa. (15, s.11.)

Kiihtyvän ilmastonmuutoksen vaikutuksesta Suomen ilmaston ennustetaan muuttuvan tulevaisuudessa nykyistä sateisemmaksi ja tuulisemmaksi, jolloin viistosaderasitus julkisivuille kasvaa. Tämä tulee entisestään lisäämään rakennusten kosteusrasitusta ja hidastamaan rakenteiden kuivumiskykyä. Muutoksi-

en on ennustettu olevan suuria ja tapahtuvan lähinnä syksyn sademäärissä, mutta myös talvisaikaan tulee suurempi osa sateista maahan vetenä. (16, s. 40–41.)

Erittäin energiatehokkaat vaipparakenteet eivät sellaisenaan aiheuta riskejä, mutta rakenteiden vikasietoisuuden heikentyessä ja ilmaston muuttuessa työ- tekninen laatu korostuu. Koska kokemusperäinen tieto uusista rakenteista puuttuu, voi sen seurauksena suunnitteluvirheiden ja sitä kautta myös asennusvirheiden määrä kasvaa. On tärkeää, että rakennustyömaalla hallitaan rakenneteknisten ratkaisujen toteutus ja työntekijät ymmärtävät, mitkä ovat energiatehokkaan rakentamisen kannalta tärkeimmät tekniset laatutekijät. (1, diat 2–3.)

Onnistunut energiatehokas rakentaminen vaatii rakennushankkeelta kokonaisvaltaista energiatehokkuutta ja koko hankeprosessin läpi kulkevaa laatuajattelua, johon kaikkien rakentamisen osapuolten tulee sitoutua. Laadukas suunnittelu, optimoidut laitevalinnat ja tarkkaan harkitut detaljit luovat lähtökohdat energiatehokkaalle rakennukselle, mutta rakentamisvaiheella on hyvin suuri merkitys energiatehokkaan pientalon laatuun. Työmaatoteutuksen onnistuminen vaikuttaa suoraan lopputuotteen turvallisuuteen, terveellisyyteen, arvoon ja asiakastyytyväisyyteen. Virheet toteutusvaiheessa voivat nostaa talon käyttökustannuksia, heikentää sisäilman laatua ja pahimmassa tapauksessa vaurioittaa rakenteita pysyvästi. (11, s. 38–39; 4, s. 140.)

3 ENERGIATEHOKKUUSKORTTELI

Energiatehokkuuskortteli on Oulussa sijaitseva kortteli, josta on varattu seitsemän pientalotonttia IEEB (Increasing Energy Efficiency in Buildings) -hankkeen käyttöön. IEEB-hankkeen yhtenä keskeisenä tavoitteena on kehittää ja edistää energiatehokasta rakentamista Pohjoismaissa sekä tuoda toimivat käytännöt ja konseptit valmistaloteollisuuden tietoisuuteen. Toinen tärkeä tavoite on rakennusten energiakulutus- ja tiiveysmittauskäytäntöjen levittäminen ja yhtenäistäminen. Ajatuksena on löytää toimivat ratkaisut perustuen etenkin todellisiin mittauksiin ja käytäntöihin ja lopulta siirtää hankittu tietotaito rakentajien käyttöön. Näiden tavoitteiden toteuttamista tukevat Energiatehokkuuskortteliin rakennettavat kehitys- ja kokeilukohteina toimivat energiatehokkaat pientalot. (3.)

Korttelin tontit on vuokrattu vuonna 2011 Oulussa toimiville pientaloja rakentaville valmistaloteollisuuden yrityksille, jotka voivat rakentaa tontilleen energiatehokkaan pientalon valitsemillaan rakenneratkaisuilla kehitystavoitteidensa mukaisesti. Tontinluovutusehtoina oli, että tontille rakennettavien pientalojen tulee olla hyvin energiatehokkaita, ennakoiden vuoden 2012 määräystasoa. Tämän lisäksi rakentamisessa tulee käyttää innovatiivisia ratkaisuja ja valmiin rakennuksen ilmanvuotoluvun tavoitearvo on enintään 0,6 l/h. Tontit sijaitsevat kaukolämpöalueella, mutta yritykset voivat vapaasti valita päälämmitysmuodon ja mahdolliset täydentävät lämmitysmuodot kohteisiinsa. (17.)

Korttelin rakennusten hyvä ilmatiiviys varmistetaan tiiveysmittausten ja lämpökamerakuvausten avulla. IEEB-hankkeen suomalaisen osapuolen, Oulun seudun ammattikorkeakoulun, toimesta taloihin asennetaan lisäksi mittauslaitteistoja, jonka avulla saadaan reaaliaikaista tietoa rakenteiden rakennusfysikaalisista ominaisuuksista kuten kosteudesta ja lämpötilasta, rakennusten energiankulutuksesta sekä ulko- ja sisäilman olosuhteista. Mukana olevilla rakennusliikkeillä onkin ainutlaatuinen tilaisuus saada arvokasta informaatiota käyttämiensä rakenteiden rakennusfysikaalisesta toimivuudesta ja mahdollisista kehitystarpeista. (3; 18.)

Energiatehokkuuskortteliin rakennettavia pientaloja käytetään tämän työn toteuttamisessa tarkkailukohteina energiatehokkaan rakentamisen työmaatoteutuksen laadun arvioinnissa. Energiatehokkuuskortteliin rakennetaan yhteensä seitsemän kohdetta, mutta rakennustyöt aloitettiin tämän opinnäytetyön tekemisen aikana vasta neljällä tontilla. Tässä luvussa kortteliin rakennettavista kohteista esitelläänkin vain tarkkailuun mukaan otetut neljä ensimmäisenä valmistuvaa pientaloa.

Pientalot energiatehokkuuskorttelissa

Korttelin pientalot ovat rakenteiltaan vaihtelevia, avaimet käteen -periaatteella valmistettavia omakotitaloja. Yhteistä kohteille on, että rakennusrunkojen valmistaminen tehdään työmaalla, eikä tehtaalla tuotettuja seinäelementtejä käytetä. Ainoastaan kattoristikot tuodaan työmaalle valmiina.

Kaikki kohteet rakennetaan pääasiassa menetelmillä ja materiaaleilla, joita yritykset ovat käyttäneet tuotannossa jo pitkään. Tavanomaista tasoa parempi energiatehokkuus toteutetaan lämmöneristepaksuuksia lisäämällä, huolellisella detaljisuunnittelulla sekä energiatehokkailla lämmitysjärjestelmillä ja laitevalinnoilla. Talotoimittajien Energiatehokkuuskorttelissa käyttämät konseptit on tarkoituksellisesti kehitetty tavanomaisen tuotannon rakenneratkaisujen pohjalta, sillä tarkoituksena on myöhemmin saattaa tarkkailukohteissa hyväksi havaitut ratkaisut osaksi perustuotantoa. (19.)

Jokainen Energiatehokkuuskorttelin pientalo rakennetaan täyttämään vähintäänkin vuoden 2012 E-lukuvaatimukset ja rakennuksissa tavoitellaan passiivitalon ilmanvuotolukua 0,6 l/h. Pientalojen E-luvut on kuitenkin määritetty vuonna 2011, ennen uusien energiamääräysten ja virallisten laskentaohjeiden voimaan astumista, eikä tarkistuslaskentaa ole vielä suoritettu. Tästä syystä ei kohteiden E-lukuja ole tässä yhteydessä nähty tarpeelliseksi ilmoittaa. (19.)

Korttelin pientalot on esitelty työssä nimettöminä ja keskitytty vain energiatehokkaan rakentamisen ja työmaatoteutuksen laadun seurannan kannalta oleellisiin tietoihin. Kohteiden identifiointi ei ole tarpeellista myöskään tarkkailujakson tuloksia ajatellen, sillä ajatuksena ei ole vertailla pientalokohteita keskenään, vaan kerätä mahdollisimman kattava havaintomateriaali rakenneratkai-

suiltaan erityyppisten energiatehokkaiden pientalojen työmaatoteutuksen laadun tasosta.

Kohde A

Kohde A on ladottavista, eristetyistä valuharkoista rakennettu kivitalo, jonka pinta-ala on hieman yli 160 brm². Ulkoseinän lämpöharkon paksuus on 400 mm. Kivitalon yläpohjan kantavana rakenteena toimivat puiset kattoristikot ja eristeenä käytetään 600 mm puhallusvillaa. Alapohjana on maanvastainen betonilaatta, jonka alla on eristemateriaalina 200 mm solupolystyreeniä. Rakennusvaipan ilmatiiveyden toteuttamiseen käytetään erityisesti kivitalon tiivistämiseen tarkoitettua Pro Clima -tuoteperhettä, jossa yläpohjan ilman- ja höyrynsulkuna toimii kahteen suuntaan kosteutta ohjaavaa Intello-höyrynsulkukangas. (19; 20.)

Kohteen A lämmitysjärjestelmäksi on valittu hybridiratkaisu. Primäärilämmönlähteenä toimii lämmönvaihtimella varustettu veteen varaava takka, jota täydentävät aurinkokeräimet ja sähkövastukset. Lämmönjakotapana talossa on vesikiertoinen lattialämmitys. Kohteessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, johon on yhdistetty maahan asennettu ilmanvaihdon esilämmitys/esiviillennyspiiri. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on yli 70 %. (19.)

Kohde B

Kohde B on bruttopinta-alaltaan hieman yli 200 m²:n puurunkoinen, lautaverhoiltu omakotitalo. Rakennus on tehty precut-puutavarasta, eli runkopuut on sahattu valmiiksi tehtaalla, mutta itse rungon kasaaminen tapahtuu työmaalla. Eristeenä kohteessa käytetään ulkoseinissä yhteensä 350 mm mineraalivillaa. Yläpohjassa eristettä on kokonaisuudessaan 700 mm, joka koostuu 100 mm:n levymäisestä mineraalivillasta ja 600 mm:n puhallussellueristeestä. Alapohjarakenteena toimii maanvarainen teräsbetonilaatta, jonka eristämiseen on käytetty 250 mm EPS-eristettä. Ilman- ja höyrynsulukuksi rakenteeseen on suunniteltu 50 mm seinä- ja yläpohjarakenteen sisään upotettu höyrynsulkumuovi. (19.)

Päälämmitysjärjestelmänä kohteessa B on kaukolämpö. Kaukolämpöä täydentämään on valittu varaava takka. Lämmönjakotapa on vesikiertoinen lattialäm-

mitys. Ilmanvaihtojärjestelmä on varustettu lämmöntalteenotolla, jonka vuosihyötysuhde on yli 70 %. (19.)

Kohde C

Kohde C on kohde B:n tapaan puurunkoinen, bruttoalaltaan noin 200 m²:n pientalo. Kohde on elementtirakenteinen, mutta puuelementit on valmistettu tehtaassa sijasta työmaalla. Eristeenä ulkoseinissä on 250 mm mineraalivillaeristettä ja 25 mm:n paksuinen tuulensuojaeristelevy. Yläpohja on valmisristikkorakenteinen ja yläpohjan 600 mm:n eristepaksuus on toteutettu 500 mm:n puhallusvillaeristeellä sekä 100 mm:n mineraalivillaeristelevyllä. Alapohjarakenteena toimii aikaisempien kohteiden tapaan maanvastainen betonilaatta, jonka alle asennetaan 250 mm solupolystyreeniä. Ilman- ja höyrynsulkuna käytetään tässäkin talossa tavanomaista höyrynsulkumuovia, joka on suunniteltu asennettavaksi sisäpuolisen 28 mm:n koolauksen taakse. (19.)

Kohteen päälämmitysjärjestelmäksi on valittu kaukolämpö. Taloon asennetaan lisäksi aurinkokeräimet ja varaava takka. Lämmönjakotapana toimii vesikiertoinen lattialämmitys. Kohteessa on lisäksi maapiirillä toimiva ilmanvaihdon esilämmitys/esiviilennys ja ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on aikaisempien kohteiden tapaan selvästi yli 70 %. (19.)

Kohde D

Neljäs kohde on kooltaan bruttoalaltaan noin 180 m²:n hirsitalo. Kohteessa on käytetty kahdenlaista ulkoseinärakennetta: alakerran seinät ovat 275 mm paksua lamellihiirtä, yläkerta puolestaan koostuu puisista kehäristikoista. Massiivihirsiseiniin ei ole käytetty lisäeristemateriaalia, mutta yläkerran kehäristikon kylmään sivu-ullakkoon rajoittuvissa seinissä on yhteensä 250 mm mineraalivillaeristettä. Yläpohjan eristepaksuus on yhteensä 550 mm: 500 mm puhallettua puukuitueristettä ja 50 mm:n levyeriste ilmansulkukerroksen sisäpuolella. Lamellihirsiseinissä ei ole erillistä ilmansulkua, mutta yläkerran rankarakenteisella osalla ja yläpohjassa ilman- ja höyrynsulkuna käytetään PE-muovista höyrynsulkua. Myös tässä talossa on alapohjana maanvastainen betonilaatta, jonka alla on 200 mm solumuovieristettä. (19.)

Lämmitysjärjestelmänä kohteessa D on hybridilämmitysjärjestelmä. Päälämmönlähteenä toimii sähkö, jota veteen varaava takka täydentää. Kohteeseen on lisäksi asennettu valmius ja keruupiiri maalämpöpumpulle, joka voidaan haluttaessa ottaa myöhemmin helposti käyttöön. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on yli 70 %, minkä lisäksi talossa on maapiirillä toteutettu ilmanvaihdon esilämmitys ja esiviilennys. (19.)

Hirsirakenteisessa pientalossa E-luku saa 25 kWh/m² suurempi kuin vastavassa tavanomaisessa pientalossa. Kohteessa kuitenkin lähdettiin tavoittelemaan yhtä hyvää energiatehokkuutta kuin muissakin korttelin kohteissa, huolimatta hirsitaloille myönnettyistä helpotuksista. (14, s. 9.)

Pientalojen rakennusvaipan lämmöneristävyys

Taulukossa 1 on esitetty jokaisen kohteen rakennusvaipan rakenneosien lämmönläpäisevyyden suunnitteluarvot. Taulukossa ovat myös Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 annetut minimivaatimukset näiden rakenneosien U-arvoille.

TAULUKKO 1. Kohteiden rakenneosien lämmönläpäisykertoimet (19)

Rakenne-osa	Lämmönläpäisykerroin (W/m ² K)				
	RakMK D3 määräystaso	Kohde A	Kohde B	Kohde C	Kohde D
Ulkoseinä	0,17	0,17	0,11	0,15	0,40/0,15
Yläpohja	0,09	0,08	0,05	0,07	0,07
Alapohja	0,16	0,16	0,10	0,11	0,11
Ikkunat	1,0	0,76	0,8	0,9	0,8
Ovet	1,0	1,0	0,8	0,9	0,8

Kaikissa Energiatehokkuuskorttelin pientaloissa vaipparakenteiden lämmönläpäisevyysarvot eivät ole juurikaan rakentamismääräyskokoelman minimivaatimuksia parempia. Joissakin kohteissa ulkovaippa poikkeaa kuitenkin muulla tavoin tavanomaisesta tuotannosta, esimerkiksi uudenlaisten tiivistystekniikoiden, materiaalien tai rakenneratkaisujen osalta. Kohde D eroaa muista taloista

lämmöneristysvaatimustensa osalta, sillä hirsirakenteisille ulkoseinille on määritetty oma U-arvonsa, $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, kun tavanomaisessa pientalossa vaatimus on $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (14, s. 13). Yläkerran kehäristikkorakenteisten ulkoseinien lämmöneristävyysvaatimukset vastaavat tavanomaiselle pientalolle asetettuja arvoja.

4 ONNISTUNEEN TYÖMAATOTEUTUKSEN AVAINTEKIJÄT

Lähtökohtana energiatehokkaan pientalon rakentamisessa toimivat aina laadukkaat suunnitelmat. Energiatehokas rakentaminen edellyttää kuitenkin myös laadukasta toteutusprosessia. Energiatehokkaan rakentamisen työmaavaihe ei poikkea juurikaan normaalin hankkeen toteuttamisvaiheesta, mutta toteuttajilta vaaditaan taitoa tunnistaa rakennusvaipan energiatehokkuuteen vaikuttavat tärkeimmät tekniset laatutekijät ja toteuttaa ne erittäin huolellisesti. (11, s. 166; 15, s. 9.)

Rakennusteknisesti vähän energiaa kuluttavan rakennuksen onnistuminen perustuu kolmeen pääkohtaan:

- rakennuksen erittäin hyvään ilmanpitävyyteen
- ulkovaipan tehokkaaseen lämmöneristävyyteen sekä
- kylmäsiltojen minimointiin (11, s.17).

Näiden tekijöiden virheetön toteutus on avainasemassa energiatehokkaan rakentamisen laadukkaassa lopputuloksessa. Teknisten tekijöiden onnistumisen lisäksi energiatehokkaan rakentamisen ehdottomia edellytyksiä ovat

- työmaan aukoton kosteudenhallinta,
- tehokas työmaatoteutuksen laadunvarmistus ja -valvonta sekä työmaahenkilöstön että suunnittelijoiden toimesta. (11, s.18.)

Energiatehokkaat talotekniikkajärjestelmät ovat myös olennainen osa energiatehokasta rakentamista ja nollaenergiarakentamista lähestyttäessä niiden merkitys korostuu entisestään. Tässä yhteydessä talotekniikkajärjestelmiä käsitellään kuitenkin vain ilmanvaihtokanavien eristyksen osalta ja keskitytään rakennusteknisten ratkaisujen onnistuneeseen toteutukseen. (11, s.17–18.)

Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan edellä mainittujen avaintekijöiden onnistunutta toteutusta ja niiden merkitystä pientalon rakennusteknisen laadun kannalta. On kuitenkin tärkeää muistaa, että rakennuksen toimivuutta ei takaa ainoastaan näiden tekijöiden virheettömyys, vaan kokonaislaadun varmistami-

seksi tulee rakennuksen olla muiltakin osin hyvän rakentamistavan mukaisesti toteutettu. Pientalon rakennusvaipan energiatehokkuuden ja kosteusteknisen toimivuuden kannalta nämä avaintekijät ovat kuitenkin kaikkein merkittävimpiä ja siitä syystä tässä työssä on syvennytty juuri niiden tarkasteluun.

Rakenteiden osalta on paneuduttu erityisesti niihin rakenneratkaisuihin, joita on käytetty tämän opinnäytetyön työmaatoteutuksen laaduntarkkailuun osallistuvissa pientaloissa Energiatehokkuuskorttelissa. Näitä rakenteita ovat:

- puurankarakenteiset ulkoseinät
- harkkorakenteiset ulkoseinät
- hirsirakenteiset ulkoseinät
- puurakenteiset yläpohjat
- maanvastaiset betonialapohjat.

Energiatehokkuuskorttelin kohteet ja niiden rakenteet on esitelty tarkemmin edellisessä luvussa 3.

4.1 Rakennusosien lämmöneristys

Lämpö siirtyy pääasiassa kolmella eri tavalla: johtumalla, konvektion avulla ja säteilemällä. Säteilyllä siirtyvän lämpömäärän osuus tosin on eristetyssä rakennusvaipassa hyvin marginaalinen, mutta esimerkiksi ikkunoita tarkasteltaessa säteily on huomionarvoinen lämmön siirtymismuoto. (21, s. 107; 4, s. 29.)

Eristettyjen rakenteiden lämpöhäviöt aiheutuvat siis pääasiassa johtumisen ja konvektion vaikutuksesta. Johtumalla siirtyvän lämpömäärän suuruus riippuu rakennusaineen lämmöneristävyystä, joten johtumisesta aiheutuvia lämpöhäviöitä pyritäänkin energiatehokkaassa rakentamisessa ensisijaisesti vähentämään ulkovaipan eristepaksuutta kasvattamalla. Konvektiossa lämpö puolestaan siirtyy vaipparakenteiden läpi ilman virtauksien mukana, esimerkiksi ilmanvaihdon tai tuulen vaikutuksesta. Konvektio voi olla myös luonnollista, eristeen sisäistä konvektiota, jonka saa aikaan rakenteen sisä- ja ulkopinnan välinen lämpötilaero. Eristeessä tapahtuva ilmavirtaus viilentää rakenteiden sisäosia ja voi näin aiheuttaa rakennukseen lämpötekniisten ongelmien lisäksi myös kosteusteknisiä ongelmia. (21, s. 267–269, 307–310.)

Lämmöneristeen sisäisillä konvektiovirtauksilla on merkitystä erityisesti energia-
tehokkaassa rakentamisessa, sillä ne voivat heikentää paksujen, hyvin ilmaa
läpäisevien eristekerrosten lämmöneristävyttä huomattavasti. Esimerkiksi pu-
hallusvillalla toteutetuissa yläpohjarakenteissa voi konvektion aiheuttama läm-
pövirran lisääntyminen olla jopa 30–50 %. Konvektiota voidaan estää ensisijai-
sesti rakennuksen tiiveydellä ja rakenneteknisillä ratkaisuilla, kuten konvek-
tiokatkoilla tai korvaamalla osa puhallusvillasta levymäisellä eristeellä. Läm-
möneristystyön työmaatoteutuksella on kuitenkin suuri merkitys konvektiovaiku-
tuksen vähentämisessä. (22, s. 23, 26; 23.)

Johtumisesta ja sisäisestä konvektiosta aiheutuvat ylimääräiset vaipan lämpö-
häviöt voidaan eristystyössä minimoida ensisijaisesti lämmöneristekerroksen
suunnitelmien mukaisella ja raottomalla toteutuksella. Huolimaton eristystyö ja
ilmaraot eristekerroksessa voivat heikentää rakenteiden laskennallisia U-arvoja
paljonkin, eikä rakennus olekaan niin energiatehokas kuin suunnitelmat osoitta-
vat. Lähtökohtana lämmöneristyskerroksen suunnittelussa ja toteutuksessa on,
että kaikki rakennuksen ulkovaipan osat muodostavat yhtenäisen kokonaisuus-
den koko rakennuksen ympäri. Rakenteiden liitokset, nurkat ja kohdat, joissa
lämmöneristekerroksen materiaali ja/tai paksuus vaihtuvat, ovat lämmöneristys-
kerroksen virheettömyyden kannalta kaikkein haastavimpia. (15, s.104; 24.)

Seuraavien otsikoiden alle on kerätty vaipparakenteiden eristystyössä huomioi-
tavia asioita, joiden tulee energiatehokkaassa rakentamisessa onnistua virheet-
tömästi. Näiden tekijöiden ja lämmöneristystyön laadunvarmistustoimenpiteiden
toteutumista on tarkkailtu myös Energiatehokkuuskorttelin pientaloissa. Raken-
teiden lämmöneristykseen yhteydessä on käsitelty myös ilmanvaihtokanaviston
eristys, sillä se liittyy läheisesti rakennusteknisiin töihin ja rakennuksen kosteus-
tekniseen toimintaan.

Seinärakenteet

Ulkoseinien eristäminen toteutetaan **puurankarakenteisissa** pientaloissa ylei-
simmin levymäisillä tai puhalletuilla lasivilla- tai puukuitueristeillä. Lämmöneris-
tekerroksen paksuus ulkoseinissä vaihtelee energiatehokkaissa rakennuksissa
tavanomaisilla eristemateriaaleilla yleensä 240 mm:stä 450 mm:iin. Mineraalivil-

lan asemasta voidaan käyttää myös muovipohjaisia eristemateriaaleja, jolloin kerrospaksuutta voidaan pienentää. (15, s. 9,16.)

Levymäiset lasi- tai puukuitueristeet tulee asentaa aina kuivissa olosuhteissa ja mielellään useammassa kerroksessa, saumat limittäen. Optimaalisen lämmöneristävyyssyvyn saavuttamiseksi eristelevyjen täytyy olla tiiviisti kiinni toisissaan sekä sisä- ja ulkopuolisia rakenteita vasten. Eristelevyn tulee täyttää koko asennustila, eikä levyjen väliin saa jäädä rakoja tai painumia (kuva 2). Koko eristekerroksen läpäisevät ilmaraot ovat erityisen haitallisia, sillä ne voivat heikentää eristekerroksen toimivuutta merkittävästi. Kaikki yli 5 mm leveät aukot lämmöneristekerroksessa tulisikin täyttää eristemateriaalilla. Jos seinärakenteisiin käytetään puhallettavia eristeitä, täytyy niiden mahdollinen painuminen huomioida asennuksessa riittävällä painumavaralla, jotta eristetilojen yläosiin ei myöhemmin synny rakoja. (24; 25, s. 205.)



KUVA 2. Tyypillisiä eristeasennuksessa muodostuvia ilmarakoja, joita tulisi välttää (23, s. 13)

Saumojen määrä tulee lämmöneristystyössä minimoida suunnittelemalla levyjako tarkasti etukäteen ja käyttämällä kokonaisia levyjä aina kun se on mahdollista. Valmiin eristekerroksen vaurioituminen tulee estää suojaamalla eristepinnat heti työsuorituksen jälkeen. Mahdolliset vioittuneet eristeet vaihdetaan aina uusiin. (25, s. 205.)

Avohuokoisia eristemateriaaleja, kuten mineraalivillaa, käytettäessä seinärakenteeseen asennetaan aina ulkopuolinen tuulensuojakerros. Tuulensuoja asennetaan lämmöneristekerroksen ulkopintaan ja sen tarkoitus on estää tuulen aiheuttamat haitalliset ilmavirtaukset eristekerroksessa. Tuulensuojakerroksen asennusta käsitellään tarkemmin rakennuksen ilmatiiviyyden yhteydessä luvussa 4.2. (4, s. 31–32.)

Energiatehokkaiden puurankaisten pientalojen rakentamisessa on tuulensuojan ulkopuolisen eristeen tai tuulensuojaeristeen käyttö lisääntynyt, sillä eristekerros pienentää konvektiovaikutusta ja parantaa rakenteen kosteusteknistä toimivuutta. Ulkopuolisen lämmöneristeen asennuksessa noudatetaan samoja periaatteita kuin muidenkin levymäisten lämmöneristeiden asennuksessa. Ulkopuolisen tuulensuojaeristeen saumat yleensä teipataan, mikä tekee eristekerroksesta ilmanpitävämmän. Teippaus tehdään samassa yhteydessä eristelevyjen asennuksen kanssa eristeen valmistajan työ- ja asennuslämpötilaohjeita noudattaen. (26, s. 5; 27.)

Ulkoseinärakenteiden paksunemisen rajoittamiseksi on puurankaisten talojen lasi- ja puukuitueristeiden rinnalle otettu käyttöön muovipohjaisia, erittäin hyvin lämpöä eristäviä eristemateriaaleja. Käytettävät tuotteet ovat yleensä solumuovia ja huomattavasti vesihöyrytiiviimpiä kuin mineraalivillaeristeet. Näitä eristeitä käytettäessä työmaalla tulee huomioida lisääntyvä tuuletustarve ja rakenteiden pidemmät kuivumisajat. Myös jälkikutistuma on ominaista solumuovipohjaisille eristeille, mikä voi aiheuttaa rakoja eristeiden ja rungon välisiin liitoksiin. (15, s. 16.)

Muovipohjaiset eristeet kiinnitetään toisiinsa ja runkorakenteisiin muodonmuutoksia kestäväällä, mielellään elastisella polyuretaanivaahdolla, joka kestää mahdollisten lämpöliikkeiden aiheuttamia pakkovoimia. Vaahdotus tehdään aina vähintään kahdessa kerroksessa. Sauman tasaisuuden ja eristekerroksen muodonmuutoskyvyn varmistamiseksi on vaahdotussauman oltava riittävän leveä, noin 10–20 mm. Enimmäislevytenä voidaan kuitenkin pitää 25 mm:ä, jotta rakenne ei jää liian harvaksi ja huonosti lämpöä eristäväksi. (15, s. 17–19.)

Harkkorakenteiset ulkoseinät on energiatehokkaissa pientaloissa yleensä tehty betonista tai kevytsorasta valmistetuista eristeharkkoista. Myös eristettyjä valuharkkoja käytetään ulkoseinärakenteina. Eristeharkkoseinien eristekerros on sijoitettu tavanomaisesti kiven keskelle. Valmistajasta riippuen eristeenä on joko paisutettua polystyreeniä (EPS) tai polyuretaania (PU). Eristeen paksuus vaihtelee 90–180 mm:iin. (28.)

Lämmöneristeen jatkuvuuden varmistaminen on harkkorakenteissa tärkein lämmöneristykseen liittyvä työmaatoteutuksen laadunvarmistustoimi. Asennuksen yhteydessä varmistetaan, että seiniin ei jää ulkoa sisään johtavia rakoja, jotka heikentävät seinän eristyskykyä. Harkkojen väliset pysty- ja vaakasaumat tulee täyttää polyuretaanivaahdolla, jota levitetään 2–3 rinnakkaista nauhaa harkon eristekerroksen päälle juuri ennen uuden harkon muuraamista. Vaahdotuksen tulisi täyttää koko eristekerroksen pinta, mutta vaahto ei kuitenkaan saisi pursuilla harkkojen väleistä tarpeettomasti. Energiatehokkaissa pientaloissa harkot ovat eristepaksuuden kasvamisen myötä usein hyvin suurikokoisia, joten niiden käsittely on tavanomaista työläämpää ja lämmöneristekerroksen yhtenäisyyttä on vaikeampi varmistaa. Ladonnassa tuleekin noudattaa erityistä huolellisuutta ja muistaa tarkistaa sekä pysty- että vaakasaumojen vaahdotukset jokaisen harkkokerroksen jälkeen. (15, s. 33–34.)

Harkkoseinät voidaan eristää myös ulkoapäin. Ulkopuolen julkisivupintana käytetään yleensä rappautusta, jolloin kyseessä on eristerapattu rakenne. Ulkopuolelta eristetyssä seinässä lämmöneristekerroksen yhteneväisyys on yhtä tärkeää kuin rakenteen keskelle sijoitettavia lämmöneristeitä käytettäessä. Tämän lisäksi huomiota tulee kiinnittää erityisesti ulkoverhouksen aukko kohtien, liitoksien ja läpivientien vedenpitävyyteen. (15, s. 50.)

Massiivisissa seinärakenteissa, kuten **hirsiseinissä** ei ole välttämätöntä käyttää erillistä lämmöneristettä, kunhan hirret asennetaan tiiviisti ja sauma- ja nurkkakohdat suojataan sadevedeltä. Yksiaineisen hirsiseinän tulee kuitenkin olla paksuudeltaan vähintään 275 mm, jotta päästään U-arvoon 0,41 W/(m²K), kun Suomen rakentamismääräyskokoelman mukainen hirsiseinän vertailuarvo on 0,40 W/(m²K) (29, s.10). Eristämättömän hirsiseinän etuna on, että siihen ei

synny rajapintoja, jolloin se toimii kosteus- ja lämpöteknisesti erittäin hyvin. (15, s. 55.)

Lisäeristetyssä hirsiseinässä tulee asennustyössä käyttää samanlaista huolellisuutta ja työtapoja kuin puurankarakenteisenkin seinän eristystyössä, mutta hirsiseinien kohdalla on aina lisäksi huomioitava rakenteen painuminen. Lämmöneristys on suositeltavaa tehdä hirsirakenteen ulkopuolelle. Sisäpuolista lämmöneristystä ei saisi hirsirakenteissa käyttää, sillä hirsiseinän viileneminen voi aiheuttaa kosteuden kondensoitumiselle otolliset olosuhteet. Jos lämmöneriste kuitenkin asennetaan hirsiseinän sisäpuolelle, on ennen asennusta tärkeää varmistaa, että hirsiseinä on ehtinyt kuivua tarpeeksi. Hirsistä poistuva kosteus voi nostaa liian aikaisin eristetyh hirren sisäpinnan suhteellista kosteutta liikaa ja aiheuttaa näin vaurioriskin. (15, s. 55.)

Puurakenteiset yläpohjat

Pientalojen puurakenteiset yläpohjat toteutetaan useimmiten ristikkorakenteisina, tuuletettuina yläpohjina tai vinoina vasakattoina. Puurakenteisen yläpohjan lämmöneristykseen voidaan käyttää samoja eristemateriaaleja ja työmenetelmiä kuin puurankarakenteisten ulkoseinien eristystyöhön. Yläpohjan lämmöneristepaksuus voi lasi- tai puukuitueristeitä käytettäessä olla energiatehokkaissa rakennuksissa jopa 700 mm, mikä vaikeuttaa eristystyön toteuttamista levymäisillä eristeillä. Tämän vuoksi yläpohjien eristykseen käytetään yleensä puhallettavaa eristettä. Yläpohjan eristämiseen voidaan käyttää myös muovipohjaisia eristeitä, mikä pienentää eristepaksuutta merkittävästi. (15, s. 59–61.)

Etenkin ristikkorakenteiset yläpohjat on suositeltavaa toteuttaa puhallusvillalla, sillä paksu, levymäinen eristekerros on vaikea saada asennettua ristikon diagonaalien väliin raottomasti ja tasaisesti. Paksu eristekerros yläpohjassa myös painaa tavanomaista enemmän, mikä tulee huomioida toteutuksessa esimerkiksi riittävän tiheällä alaslaskurimoituksella tai tukevalla alapuolisella levyrakenteella. Asennetun puhallusvillan päällä ei saa enää liikkua, jotta eristekerrokseen ei synny painumia. (15, s. 60–61.)

Vinot puuyläpohjat eristetään sisältä päin levymäisillä mineraalivilla- tai solumuovipohjaisilla eristeillä käyttäen samoja menetelmiä kuin seinäeristeidenkin

asennuksessa. Toinen vaihtoehto on muodostaa kattokannattajien väleistä työmaalla esimerkiksi rakennuspaperin avulla koteloita, jotka täytetään puhallusvillalla yksitellen. Vainoissa yläpohjissa puhallusvillan epätasainen painuminen on kuitenkin huomioitava koteloiden täytössä riittäväällä painumisvaralla. Jyrkillä katoilla painuminen on luonnollisesti loivia kattoja runsaampaa. (15, s. 65.)

Yläpohjan puhallusvillaeristuksen laadukkaaseen toteutukseen ja lämpöhäviöiden minimointiin kuuluu olennaisena osana myös tuulenohjainten virheetön ja kestävä asennus. Ohjaimet kiinnitetään työmaalla siten, että ilmavirtaukset eivät pääse heikentämään eristeen lämmöneristävyttä tai liikuttamaan eristettä. Tuulenohjaimet tulee kiinnittää yläpohjan reuna-alueille niin, että ne kestävät mahdollisen päälle kertyneen lumen kuorman ja johtavat sulamisvedet eristetilän ulkopuolelle. (30.)

Maanvastaiset alapohjat

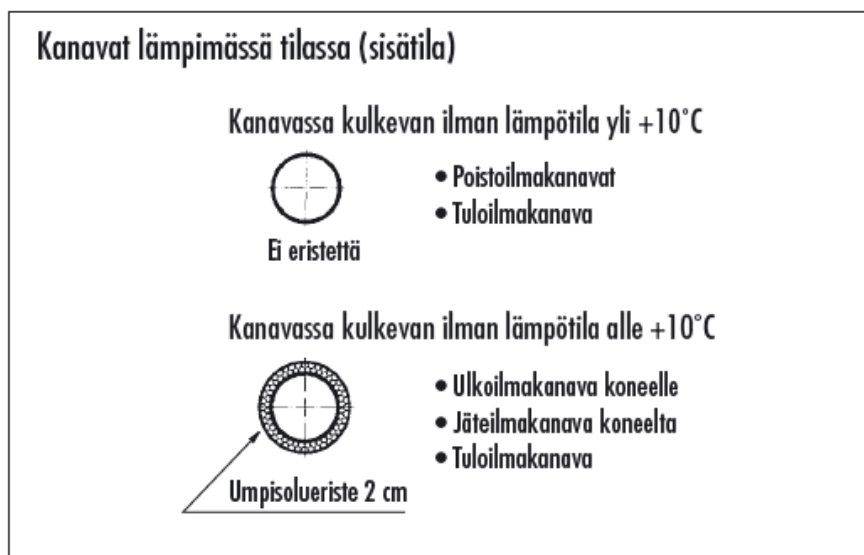
Maanvastaisten betonialapohjien eristepaksuudet kasvavat energiatehokkaassa rakentamisessa nykyisestä 100–200 mm:stä 170–260 mm:iin riippuen eristämateriaalin lämmönjohtavuudesta. Yleisimmät maanvastaisten alapohjien eristeet ovat kuormitusta kestäviä EPS- tai polyuretaanieristelevyjä. Levyjen asennustyö toteutetaan noudattaen samoja periaatteita kuin muissakin eristetyissä rakenteissa: eristelevyt asennetaan raottomasti ja suunnitelmien mukaisesti eristekerroksien saumat limittäen. Neljän eristelevyn kulmat eivät saisi osua samaan pisteeseen. Kovat eristelevyt liikkuvat melko helposti ja voivat lohkeilla, joten tarpeetonta kuormitusta tulee valmiin eristeasennuksen päällä välttää ja esimerkiksi lattialämmityspotkiston ja betoniraidoitteiden asennuksessa tulee noudattaa varovaisuutta. (15, s. 84–85; 25, s. 205.)

Betonivalun yhteydessä on tärkeää huolehtia, ettei betoni pääse tunkeutumaan eristeiden väliin tai siirtämään niitä. Eristeiden päällä voidaan käyttää esimerkiksi suojaavaa kangasta. Betonivalu ei myöskään saa päästä kosketuksiin kosteusherkän seinärakenteen kanssa, mikä on huomionarvoinen asia erityisesti puurankarakenteisissa taloissa. Seinien vierillä tuleekin puurakenteisissa taloissa käyttää aina erillisiä, kosteutta ja betonin emäksisyyttä kestäviä valutoppareita. (24.)

Ilmanvaihtokanavien lämmöneristys

Energiatehokkaassa rakentamisessa ilmanvaihtokanavien huolellinen eristäminen on hyvin tärkeää, sillä huolimattomasti tehdyt tai kokonaan puuttuvat eristeet lisäävät ilmanvaihdon lämpöhäviöitä. Toinen teknisesti tärkeä seikka on ilmanvaihtokanavien eristys kondenssia vastaan. Epätasainen kondenssieristys voi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä kylmien kanavien pinnoille, ja on siten riski vaurioille. (31.) Ilmanvaihtokanavistojen lisäksi myös ilmanvaihtojärjestelmän äänenvaimentimet, kotelot ja muut ilmanvaihtokanavan osat tulee lämmön- ja kosteudeneristää niin, ettei kosteuden tiivistyminen vaaranna rakenteiden tai ilmanvaihtokanavien toimivuutta (32, s. 21).

Rakennuksen lämpimällä puolella olevat ulkoilmakanavat ja lämmöntalteenoton jälkeinen poistoilmakanava täytyy aina eristää kondenssia vastaan. Jos ilmanvaihtoa käytetään kesäajan viilennykseen, täytyy myös lämpimällä puolella olevissa tuloilmakanavissa käyttää kondenssieristettä. (Kuva 3.) Kylmässä tilassa, esimerkiksi ristikkorakenteisessa yläpohjassa, sijaitsevien poistoilmakanavien ulkopinnalla sitä vastoin ei saa käyttää vesihöyrytiivistä eristettä, vaan kanavistoon mahdollisesti kondensoituvan kosteuden on päästävä haihtumaan tuuletettavaan ullakkotilaan. (31; 33, s. 9.)

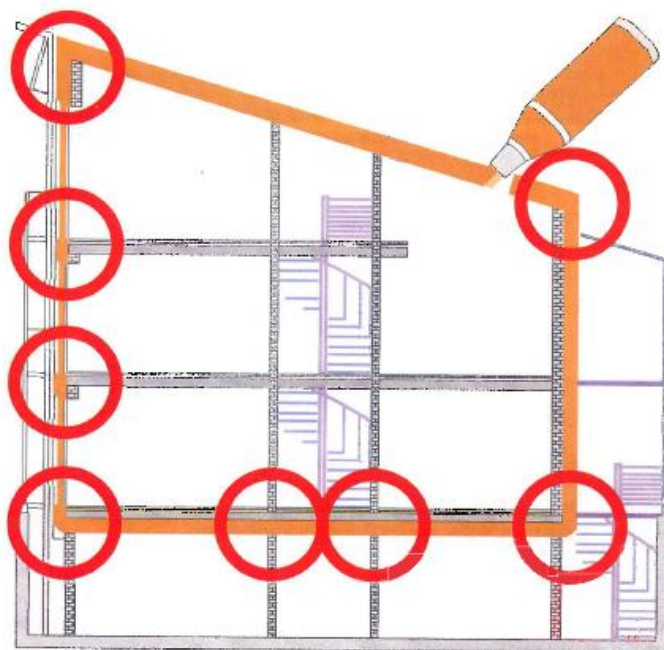


KUVA 3. Periaatekuva ilmanvaihtokanavien kondenssieristyksestä (33, s. 8)

Ilmanvaihtokanavien kondenssieristämiseen käytetään yleisimmin alumiinipinoitettua mineraalivillaeristettä tai umpisolueristeitä. Kondenssieristysten työmaatoteutuksessa on tärkeintä, että eristeen pinta on kauttaaltaan vesihöyrytiivis ja että eriste on joka puolelta tiiviisti kiinni eristettävää kanavaa vasten. Eristekerrokseen ei siis saa jäädä vesihöyryä läpäiseviä rakoja tai muita epätasaisuuksia. Ilmanvaihtokanavien lämmöneristekerrosten paksuudet määritellään aina kohdekohtaisissa suunnitelmissa, joita tulee noudattaa työmaalla. (31.) Suunnitelmat on työmaalla hyvä tarkastaa ennen eristystyötä, sillä jos suunnitteluvaiheessa ei putkieristystä varten ole varattu tarpeeksi tilaa, voi toteutus jäädä helposti puutteelliseksi (4, s. 143).

4.2 Kylmäsiilat

Kylmäsiilalla tarkoitetaan rakennusvaipan osaa, jossa lämpövirta muuttuu selvästi ympäröivää rakennetta suuremmaksi. Rakenteiden kylmäsiilat liittyvät hyvin läheisesti rakennuksen ulkovaipan lämmöneristykseen, sillä parhaiten kylmäsiiloja voidaan välttää lämmöneristekerroksen jatkuvuuden huolellisella suunnittelulla ja tarkalla asennuksella. Erityisesti rakennuksen kriittisimmät kohdat, kuten nurkat ja liitokset tulee suunnitella ja toteuttaa huolellisesti (kuva 4). Kylmäsiiloja ei rakentamisessa yleensä voida täysin välttää, mutta huonolla työmaatoteutuksella voidaan aiheuttaa niitä tarpeettomasti, esimerkiksi käyttämällä vääriä materiaaleja tai toteuttamalla rakenteet suunnitelmien vastaisesti. (4, s. 142; 34.)



KUVA 4. Tyypillisimmät kylmäsillat, jotka ovat vältettävissä rakennusvaipan yhtenäisellä eristekerroksella (35, s. 43)

Rakennuksen kylmäsillat jaetaan tavallisesti pistemäisiin ja viivamaisiin kylmäsiltoihin. Viivamaisella kylmäsillalla tarkoitetaan kylmäsiltaa, jonka poikkileikkaus on rakenteen pinnan suunnassa jatkuva. Viivamaisia kylmäsiltoja ovat tyypillisesti rankarakenteisten talojen runko-osat, ylä- ja alapohjien liitokset ulkoseiniin, väliseinäliitokset sekä ikkunoiden liittymäkohdat. Pistemäiset kylmäsilat taas ovat paikallisia, ei-jatkuvia kylmäsiltoja, joita voi muodostua esimerkiksi asennuksessa käytettävistä terässiteistä ja -kiinnikkeistä. Kylmäsillat voidaan ryhmitellä myös rakenteellisiin ja geometrisiin kylmäsiltoihin. Geometrisia kylmäsiltoja muodostuu, kun rakenne vaihtaa suuntaa, esimerkiksi ulkoseinän nurkkakohdissa. Rakenteellisella kylmäsillalla taas tarkoitetaan kohtaa, jossa materiaalin lämmönjohtavuus tai eristepaksuus muuttuu, kuten esimerkiksi ikkuna- ja oviliittymien kohdalla. (34; 36, s. 5.)

Energiatehokkaassa rakentamisessa ja kohti nollaenergiarakentamista siirryttäessä kylmäsiltojen merkitys korostuu, sillä kylmäsiltojen suhteellinen vaikutus lämpöhäviöihin kasvaa vaipparakenteiden lämmönläpäisevyyden pienentyessä (12, s. 16). Paikallinen, ympäristöä matalampi lämpötila voi energiankulutuksen

lisäksi aiheuttaa myös viihtyvyysongelmia ja kosteuden haitallista tiivistymistä rakenteen pinnalle (4, s. 30).

Suunnitelmissa huomioituja kylmäsiltoja tai geometrisia kylmäsiltoja ei toteutusvaiheessa voida enää estää, mutta ylimääräisiä kylmäsiltoja kyetään ehkäisemään ensisijaisesti suunnitelmien mukaisella rakentamisella. Erityistä huomiota tulee kiinnittää vaipparakenteen läpäisevien, hyvin lämpöä johtavien materiaalien käyttöön. Huomiota vaativia kohtia ovat esimerkiksi ikkuna- ja oviliittymät, muurauslaastin käyttö, metallikiinnikkeiden asennus sekä rakennuksen metallisten läpivientien eristys. (34.)

Rakennusvaiheessa on myös tärkeää tunnistaa potentiaaliset kylmäsiltoja, jotta niitä osataan työmaatoteutuksessa välttää. Työmaalla ei saa tehdä omia ratkaisuja runkorakenteiden ja rakenneliittymien suhteen, vaikka suunnitelmien mukainen keino olisikin uusi tai vaikeammin toteutettava. Myöskään rakennusmateriaaleja ja kiinnikkeitä ei saa vaihtaa ilman suunnittelijan suostumusta. Jos toteutusvaiheessa tulee vastaan ongelmia, joita ei ole otettu suunnitelmissa huomioon, on sopiva ratkaisu selvitettävä silloinkin aina yhteistyössä suunnittelijan kanssa. (34.)

Ikkunat ja ovet ovat lämmöneristävyydeltään selkeästi muita rakennusosia heikompiä ja niiden asennuksessa saadaan huolimattomuudella helposti aikaan merkittäviä kylmäsiltoja. Ikkunat ja ovet asennetaan lähtökohtaisesti rakenteen syvyysuunnassa lämmöneristeen kohdalle. Seinän ja ikkunan väliseen liitokseen tulee jättää riittävä tilkevara, joka täytetään huolellisesti esimerkiksi vaahdottamalla tai muulla lämmöneristeellä, jotta paikkaan ei muodostu huonosti lämpöä eristävää kohtaa. Suunnitelmien liitosdetaljeja tulee seurata asennuksessa tarkasti, sillä laskennallisella tarkastelulla saavutetut U-arvot toteutuvat vain piirustusten mukaisilla liittymäratkaisuilla. Jos toteutuskuvat eivät ole yksityiskohdiltaan riittävät, on likimääräisen asennuksen sijaan suunnittelijalta pyydettävä seikkaperäisemmät detaljikuvat. Ikkunoiden ja ovien kiinnitystä ja liittymien tiivistystä on käsitelty yksityiskohtaisemmin rakenteiden ilmanpitävyyttä käsittelevässä luvussa 4.3. (15, s. 20; 37, s. 15.)

4.3 Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Rakennuksen ilmanpitävyydellä tarkoitetaan sen ominaisuutta estää vaipan läpi tapahtuvaa ilman virtausta. Mitä tiiviimpi rakennus on, sitä vähemmän se päästää lävitseen vuotoilmaa. (4, s. 31.) Rakennusten ilmanpitävyys ilmoitetaan vaipan pinta-alaan suhteutettuna ilmanvuotolukuna q_{50} [$\text{m}^3/(\text{h m}^2)$] tai rakennuksen sisätilavuuteen suhteutettuna ilmanvuotolukuna n_{50} [1/h]. Energiatehokkaassa pientalossa ilmanvuotoluvun q_{50} tulisi olla enintään $1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, kun Suomen rakennusmääräysten vaatimusten mukainen enimmäisarvo on $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Passiivitalokonseptin mukaisesti toteutetun pientalon n_{50} -luvun enimmäisarvoksi on puolestaan annettu $0,6 \text{ 1/h}$ (q_{50} arvoa ei ole määritetty). (14, s. 10; 15, s. 15.)

Määräystasoa parempi ilmanpitävyys tulee aina osoittaa kohteessa tehtävin painekoemittauksin. Ilmanvuotoluku määritetään sekä rakennustyön aikana että rakennuksen valmistuttua (15, s. 15). Tulee silti muistaa, että alhainen ilmanvuotoluku ei ole automaattisesti tae vaipparakenteiden moitteettomasta toiminnasta, sillä yksittäisetkin huolimattomasti toteutetut tiivistykset rakennusvaipassa voivat aiheuttaa paikallisesti merkittäviä ilmanvuotokohtia (14, s. 10). Työn aikaiset mittaukset yhdistettynä lämpökamerakuvaukseen auttavat löytämään ja korjaamaan mahdolliset vuotokohdat ennen lopullisten pintojen valmistumista (15, s. 15).

Rakenteiden läpi vuotavalla ilmalla on ratkaiseva rooli energiatehokkaassa rakentamisessa, sillä rakennuksen ilmanpitävyys vaikuttaa suoraan sen energiatehokkuuteen. Ilmavirtausten mukana kulkeutuu ulos lämpöenergiaa ja vastaa-vasti sisään virtaa ulkoa kylmää ilmaa. (15, s. 15.) Esimerkiksi 2-kerroksisen pientalon lämmitysenergiankulutus pienenee 7 %, kun rakennuksen ilmanvuotolukua pienennetään yhden yksikön verran (38, s. 119–120). Rakenteisiin pääseivät ilmavirtaukset huonontavat lisäksi eristeiden lämmöneristyskykyä, kuten on aikaisemmin todettu luvussa 4.1.

Rakennuksen ilmanpitävyydellä on energiatehokkuuden lisäksi suuri merkitys myös rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Sisä- ja ulkoilman kosteusero pyrkii tasoittumaan vaipparakenteiden läpi diffuusion vaikutuksesta. Jos rakennus on ylipaineinen, voi kosteutta siirtyä rakenteisiin vaipan epätiivelyskohdista

myös konvektiolla. Sisätiloista rakenteisiin pääsevä vesihöyry voi tiivistyä eli kondensoida rakennusvaipan ulko-osiin ja aiheuttaa näin kosteus- ja lämpötekniisiä ongelmia. Rakenteiden ilmavuodot aiheuttavat yleensä suurimman osan sisäilman synnyttämistä kosteusvaurioista, sillä konvektion mukana voi vesihöyryä siirtyä rakenteisiin lyhyessä ajassa huomattavasti enemmän kuin diffuusion vaikutuksesta. (39, s. 23–28.)

Jotta rakenteisiin päätyisi konvektiolla suuria määriä kosteutta, täytyy rakennuksen olla ylipaineinen ulkoilmaan nähden. Uusissa pientaloissa on kuitenkin lähes aina koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, joka mitoitetaan siten, että sisätiloissa on jatkuvasti pieni alipaine. Konvektion mahdollisuus on silti olemassa, sillä puutteellisesti säädetty ilmanvaihto, sisä- ja ulkoilman lämpötilaerot, tuuli sekä avoimet ikkunat ja ovet voivat synnyttää varsinkin rakennuksen yläpohjaan ja seinien yläosiin ylipainetta, jolloin vesihöyryä voi päästä virtaamaan rakenteisiin. (39, s. 26–27.)

Kosteuskonvektion haittavaikutuksia on vaikea arvioida tarkasti edes laskentaohjelmilla, mutta koska syntyvät vauriot voivat olla vakavia, kannattaa rakenteen pieniinkin epätiiveyskohtiin suhtautua vakavasti. Erään laskennallisen tarkastelun mukaan konvektion vaikutuksesta voi yhden vuorokauden aikana kulkeutua höyrynsulkumuovissa olevan 1 cm² kokoisen reiän läpi kosteutta laskennallisesti 112 g, kun rakennuksessa on 10 Pa:n ylipaine ja tyypilliset talviolosuhteet (sisällä +20 °C ja 40 RH-% ja ulkona –10 °C ja 90 RH-%). Jos siis rakennuksessa vallitsisi 10 Pa:n ylipaine viikon ajan, voisi kosteutta siirtyä reiän läpi rakenteeseen melkein 800 g. Toisessa, laboratoriossa tehdyssä koesarjassa, kutakuinkin samoissa olosuhteissa ei kuitenkaan havaittu laskuesimerkin kaltaisia kosteusvirtoja, vaikka reikien ala oli suurempi, yhteensä 3,2 cm². Tällöin havaittu kosteuskonvektio oli vain 15,9 g/vrk. Tällöinkin seinän sisään voisi silti päätyä yli 100 g kosteutta, eli noin desilitran verran vettä yhden viikon aikana. (40, s. 62; 41, s. 59, liite 6.)

Rakenteiden riskittömän lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi täytyy rakennusvaipan siis olla ehdottoman ilmatiivis. Hallitsemattomat ilmavuodot vaipan lävitse heikentävät myös asumisviihtyvyyttä, ilmanvaihdon toimivuutta sekä rakennuksen sisäilmastoa. (38, s. 13.) Jos rakennusmateriaali ei

itsessään ole riittävän ilmanpitävä, toteutetaan rakenteen ilmatiiveys erillisellä ilmansulkukerroksella (42, s. 10).

Tutkimuksien mukaan tyypillisimpiä ilmanvuotokohtia pientaloissa ovat ulkoseinän ja yläpohjan liitokset, ikkunat ja ovet sekä niiden liitokset ulkoseinään, ulkoseinän ja välipohjan liittymät sekä ilmansulun läpiviennit (42, s. 9). Näiden liitosten työmaatoteutukseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Onkin tärkeää, että työmaalla tunnetaan ilmatiiveyden kannalta kriittiset kohdat ja osataan tiivistää ne oikeilla menetelmillä. (15, s. 15.)

Lähtökohtaisesti rakennuksen hyvä ilmanpitävyys on suunnittelutehtävä, sillä onnistuneen työmaatoteutuksen edellytyksenä ovat laadukkaat ja riittävän tarkat detaljitasoiset suunnitelmat rakenteiden ja rakenneosien ilmatiiviin kerroksen liitoksista. Rakennus tulee suunnitella siten, että yhtenäinen ilmatiivis kerros ympäröi sen kokonaan ja ilmansulun liitoksia ja lävistyksiä on mahdollisimman vähän. On myös suositeltavaa, että suunnittelija käy tiivistysdetaljit läpi asentajien kanssa ja keskustelee niiden toteutuksesta rakennustyömaan työntekijöiden kanssa. (24.) Hyvin tehdyt suunnitelmat eivät yksin takaa ilmanpitävää lopputulosta, vaan työn toteuttajilla tulee olla tieto siitä, miksi rakennuksesta halutaan tehdä tiivis ja ennen kaikkea motivaatiota tiiveyden tarkkaan toteuttamiseen työmaalla (42, s 10–11).

Ilmanpitävyyden toteuttamiseen käytettyjen ratkaisujen on säilyttävä tiiviinä koko pientalon käyttöiän. Tiivistysratkaisujen pitkäikäisyys tuleekin varmistaa erityisesti piiloon jäävissä rakenneosissa, sillä niiden myöhempi korjaaminen on suuritöistä. Ilmansulkukerroksen tiivistyksessä saa käyttää ainoastaan tarkoitukseen valmistettuja tuotteita, jotka ovat testattuja, pitkäaikaiskestäviä sekä riittävän joustavia. On myös suositeltavaa käyttää koko rakennuksen ilmatiiveyden toteuttamiseen saman valmistajan yhteensopivia tuoteperheitä, jos sellaisia on saatavilla. (39, s. 45; 42, s. 11.)

Seuraavien otsikoiden alle on koottu erilaisten rakenteiden ilmatiiviyden toteuttamiseen käytettäviä menetelmiä ja niiden oikeaoppista toteuttamista energiatehokkaassa rakentamisessa. Kerätyn tiedon pohjalta myös arvioidaan Energia-
tehokkuuskorttelin pientalojen tiiviyden toteutumista ja lopputuloksen laatua.

Kuten lämmöneristyksessäänkin, myös ilmatiiveyden kohdalla keskitytään pääasiallisesti tarkkailukohteissa käytettäviin rakenneratkaisuihin ja niiden virheettömyyden työmaatoteutukseen.

Seinä rakenteet

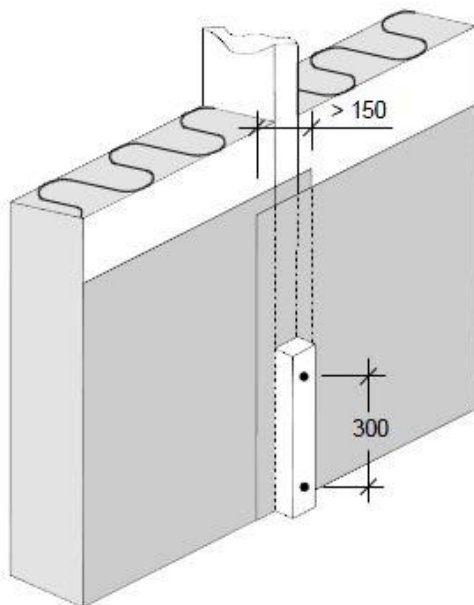
Kerroksellisissa ja kosteudensietokyvyltään heikoissa rakenteissa, kuten tavanomaisissa mineraalivillalla eristetyissä **puurankarunkoisissa** pientaloissa tarvitaan ilmansulkukerroksen lisäksi aina myös höyrynsulkukerros. Höyrynsulkukerroksen tehtävänä on estää haitallista vesihöyryn diffuusiota rakennusvaipan lävitse. Höyrynsulku asennetaan aina lämmöneristuksen sisäpintaan, ja sillä on oltava vähintään viisi kertaa parempi vesihöyrynvastus kuin kylmällä puolella olevalla rakennekerroksella. Useimmiten ilman- ja höyrynsulkukerroksena käytetään samaa ainekerrosta, joka voi olla esimerkiksi muovikalvo, vesihöyrytiivis solumuovieristelevy tai betonirakenne. (39, s. 27–28; 44, s. 2, 9.)

Polyeteenistä valmistettu 0,2 mm paksu höyrynsulkumuovi on jo pitkään ollut käytetyin ilman- ja höyrynsulku rankarakenteisissa pientaloissa. Myös kosteutta tasaavia, kahteen suuntaan toimivia höyrynsulkukalvoja otetaan käyttöön enenevässä määrin. Kalvomainen ilman- ja höyrynsulku tulee työmaalla asentaa mahdollisimman leveinä kaistaleina liitoskohtien minimoimiseksi. Liitoksien ja jatkoskohtien tiivistykseen käytetään yleisimmin ilmansulkuteippejä. Kalvoa käsitellään varoen ja asennuksen aikana syntyneet reiät teipataan aina umpeen. Vaikka ilmansulkukalvot kestävät hyvin vetorasitusta, tulee asennuksessa ottaa huomioon runkorakenteen mahdolliset epätasaiset liikkeet, eikä kalvoa saisi jättää rakennuksen nurkissa liian kireälle. (15, s. 26.)

Sähköasennuksista ei saa aiheutua ilmansulkuun reikiä. Yleisesti käytetty tapa on asentaa ilmansulkukalvo 50 mm:n etäisyydelle sisäverhouslevyn taakse, jolloin esimerkiksi seinään lyötävät naulat eivät riko kalvoa kovinkaan helposti ja sähköasennukset voidaan helposti tehdä rei'ittämättä höyrynsulkumuovia. Höyrynsulun sisäpuolisen lämmöneristeen saa kuitenkin asentaa työmaalla vasta, kun suurta kosteusrasitusta aiheuttava työvaiheet, kuten lattiavalu, on tehty. Liian aikaisin asennettu lämmöneriste voi saada aikaan haitallista vesihöyryn tiivistymistä muovikalvon sisäpintaan. Ilmansulkukalvo voidaan asentaa myös

suoraan sisäverhouslevyn taakse. Tällöin kalvo täytyy jättää asennusvaiheessa riittävän löyhäksi, jotta sähkörsiat ja putkitukset mahtuvat sisäverhouslevyn ja ilmansulkukalvon väliin ilman muovin leikkaamista. Sähkörsioiden tiivistäminen kalvoon ei tavallisesti riitä ilmatiiveyden varmistamiseksi, sillä rsiat itsessään eivät yleensä ole ilmatiiviitä. (15, s. 26; 42, s. 12,16.)

Ilmansulkukalvon jatkokset ja liittymät tiivistetään koko matkaltaan puristusliitoksilla kahden tiiviin pinnan väliin. Kalvojen reunat limitetään vähintään 150 mm ja sijoitetaan jatkoskohta esimerkiksi runkotolpan ja puuriman väliin. Puristusliitokset kiinnitetään ruuvaamalla kappaleet vastakkain riittävän tiheällä, enintään 300 mm:n ruuvijaolla. (Kuva 5.) Naulakiinnityksellä puristus ei ole riittävän voimakas ja liitos todennäköisesti löystyy puun kuivuessa. Jos käytettävä puutavara ei ole tarpeeksi suoraa, tehdään liitos tarvittaessa useasta lyhyemmästä kappaleesta. Puristusliitoksen lisäksi jatkoskohta on aina teipattava. Teippien käyttö ei kuitenkaan yksinään riitä liitoksen tiivistykseen, sillä pitkällä aikavälillä teipit voivat irtoilla liimapinnan kuivuessa. (39, s. 43–44; 42, s. 14.)

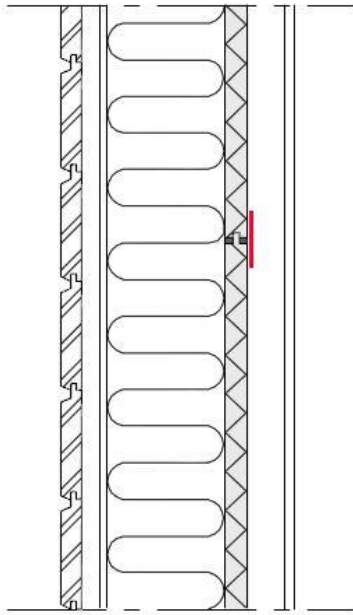


KUVA 5. Kalvomaisen ilman- ja höyrynsulun oikeaoppinen liitostapa (42, s. 15)

Ulkoseinien ilmansulkukalvon asennuksessa on työmaalla muistettava, että ilmansulkukerroksen tulee olla yhtenäinen myös välipohjan ja ulkoseinän liitoksen kohdalla. Liittymän ilmanpitävyys voidaan toteuttaa esimerkiksi asettamalla riittävän leveä ilmansulkukaistale seinään kiinnitettävän palkin taakse välipohjan tekemisen yhteydessä tai kiertämällä välipohjapalkkien päät ilmansulkumuovilla. (39, s. 42–43.)

Avohuokoisia eristeitä, kuten mineraalivillaeristeitä käytettäessä rakenteeseen täytyy asentaa sisäpuolisen ilmansulun lisäksi ulkopuolinen tuulensuojakerros estämään tuulen aiheuttamat haitalliset ilmavirtaukset lämmöneristekerroksessa. Tuulensuojana käytetään pientaloissa yleisimmin erilaisia tuulensuojalevyjä tai -kankaita, joiden tulee olla mahdollisimman hyvin vesihöyryä läpäiseviä. Tuulensuojakerroksen saumat tulee liittää mielellään runkotalppien kohdalla raottomasti toisiinsa ja välttää kerroksen tarpeetonta läpäisemistä. Tuulensuojakerroksen saumat ja läpiviennit voidaan tarpeen mukaan myös teipata tarkoitukseen sopivalla, vesihöyryä läpäisevällä teipillä. Tuulensuojan ja ulkoeristyksen asennustyössä lisäksi varmistetaan, että rakenteen tuuletusrako on toimiva ja riittävän leveä ulkovaipan kaikissa osissa. Tuulensuojakerros ei myöskään saa olla kosketuksissa betonisokkeliin, jotta kosteus ei pääse nousemaan kapillaarisesti seinärakenteeseen. (39, s. 28; 42, s. 15.)

Puurankarakenteisten seinien ilman- ja höyrynsulkukerros voidaan toteuttaa myös muovipohjaisilla, riittävän vesihöyrynvastuksen omaavilla eristelevyillä. Eristelevy sijoitetaan rakenteessa ilman- ja höyrynsulkukalvon paikalle, kiilataan oikeaan sijaintiinsa ja kiinnitetään kerroksittain polyuretaanivaahdolla. Riittävän vaahdotuspinnan saavuttamiseksi on levyn suositeltava paksuus vähintään 20 mm. Levyn sisäpuolelle jätetään asennusvara sähköasennuksille. Muovieristeitä käytettäessä on eristelevyjen ja rakenteen välisen raon vaahdotus kriittisin tekijä hyvän ilmatiivyyden toteutumiseksi. Saumat vaahdotetaan vähintään kahdessa kerroksessa, eikä eristelevyjä saa enää vaahdotuksen jälkeen liikuttaa. Vaahdotuksessa on oltava huolellinen, sillä mikäli vaahtoa joudutaan leikkaamaan, heikkenee sauman ilmatiiveys huomattavasti. Saumojen yliteippauksella voidaan leikatun sauman ilmatiiviyttä kuitenkin parantaa. (Kuva 6.) (15, s. 17–18; 42, s. 13–14.)



KUVA 6. Ilman- ja höyrynsulkukerros muovipohjaisilla eristeillä toteutettuna (42, s. 14)

Puurankaisissa taloissa tulee työmaalla kiinnittää huomiota märkätilojen ilmanpitävän kerroksen toteutukseen. Useimmiten myös puurankaisissa pientaloissa märkätilojen seinät toteutetaan kivrakenteisena sisäkuorena. Märkätilojen tiivis vedeneriste ja rakennuksen ilmanpitävä kerros asennetaan toisistaan erillisenä siten, että niiden väliin jäävä tila tuulettuu kuivaan sisätilaan. Ilmansulun poistaminen märkätilan kohdalta johtaa ilmanpitävyysongelmiin, ja kahdessa eri tasossa olevien kerrosten liittäminen toisiinsa ilmatiiviisti on lähes mahdotonta toteuttaa työmaalla. (42, s. 73.)

Harkoista tai tiilistä muuratut seinät eivät sellaisenaan ole ilmatiiviitä, vaan niiden ilmanpitävyys perustuu ulko- ja sisäpintojen pintakäsittelyihin. Rakenteen ilmanpitävänä kerroksena toimii normaalisti ulkoseinien sisäpinnan tasoitus. (15, s. 33; 42, s. 16.) Betonivaluharkkojen eli muottiharkkojen ilmanpitävyys on betonin ansiosta muurattuja harkkoja parempi, eikä tasoituskerros ole välttämätön ilmanpitävyyden varmistamiseksi. Tämä edellyttää kuitenkin, että harkkojen betonivalu on yhtenäinen ja tiivis. (45, s. 17, 20.) Toinen valuharkkorakenteen ominaispiirre on, että harkon sisäkuori kuivuu vain sisäänpäin ja ulkokuori ulospäin, mikä on huomioitava pinnoitusaikatauluissa ja -materiaaleissa (15, s. 35).

Muurattujen harkkoseinien tasoituslaastikerros on levitettävä kauttaaltaan ulkoseinien sisäpinnoille niin, että se liittyy toimivasti ylä- ja alapohjan ilmanpitäviin kerroksiin sekä ikkuna- ja oviaukkojen liittymiin. Tasoituksen on ulotuttava jokaisen ulkoseinän ylä- ja alareunaan saakka, myös alaslaskettujen kattojen ja talotekniikka-asennusten takana. Jos asennusten taakse jää pinnoittamattomia kohtia, on rakenne lähes mahdotonta saada ilmatiiviiksi. Työmaalla onkin tärkeää suunnitella huolellisesti ammattiryhmien ja työvaiheiden aikataulutus sekä varmistaa, että ilmatiivis kerros on saatu valmiiksi ennen kiintokalusteiden muiden seinäkiinnitysten asentamista. Jos ulkoseiniin joudutaan tekemään tasoituksen jälkeen uusia aukkoja tai muita tasoituskerroksen rikkovia asennuksia, on ilmatiivis kerros tehtävä kyseiseen paikkaan uudelleen. (15, s. 33; 43.)

Halkeamat ja harkkojen väliset raot heikentävät kivitalon ilmanpitävyyttä, joten niiden syntymistä tulee työmaa-asennuksessa välttää käsittelemällä harkkoja varoen ja tarkistamalla saumakohdat aina asennuksen yhteydessä. Oikein suunnitellulla raudoitteilla ja rajoittamalla painumia saadaan halkeilua estettyä tehokkaasti, joten raudoitussuunnitelmia täytyy työmaalla seurata tarkasti. (15, s. 33.)

Lämmöneristämättömissä yksiaineisissa ulkoseinissä, kuten **hirsiseinissä**, toimii koko rakenne ilmansulkuna, eikä erillistä ilman- tai höyrynsulkukerrosta tarvita. Kaikki hirsien saumat ja nurkkaliitokset täytyy kuitenkin tiivistää huolellisesti. Ulkopuolelta eristetyissä hirsiseinissä ei myöskään ole välttämätöntä käyttää erillistä ilmansulkukerrosta, mutta sisäpuolista eristystä käytettäessä täytyy lämmöneristeen sisäpuolella olla hyvin tiivis ilman- ja höyrynsulku. Sisäpuolelta eristettyjen hirsiseinien ilmatiiveyden toteuttamisessa noudatetaan puuran-kaseinien tiiveysohjeita. Hirsiseinien painumisen vuoksi on rakenne kuitenkin vaikeaa saada luotettavasti ja pitkäaikaisesti ilmatiiviiksi pelkän sisäpuolisen ilmansulkukalvon avulla. (15, s. 55–56.)

Huolellisella työllä ja hyvillä tiivistysratkaisuilla on yksiaineisista hirsirakenteisista pientaloista mahdollista saada erittäin tiiviitä. Työmaatoteutuksessa on hirsirakenteisen pientalon kohdalla tärkeintä tiivisteiden virheetön asennus. Suorilla seinäosuuksilla on hirsiprofiili merkitsevin tekijä ilmanpitävyyden toteutumisessa, mutta seinäosuuksia tärkeämmässä roolissa ovat kuitenkin nurkkien salvos-

ratkaisut ja niiden tiivis toteutus. Hirsikerrosten välisissä saumoissa ja nurkkaliitoksissa käytetään tyypillisesti joustavia solumuovi- ja kumitiivisteitä sekä villa-kaistaleita. (42, s. 17.)

Hirsikehikon painumisen vuoksi hirsiseinien ja painumattomien rakenteiden liitoskohtiin on panostettava suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa erityisen paljon. Painuminen tulee huomioida kaikissa rakenneosissa sekä aukkojen tiivistyksessä. Haasteellisimpia paikkoja hirsirakenteisen pientalon ilmanpitävyyden toteutamisessa ovatkin juuri ikkuna- ja oviliitokset sekä ulkoseinien ja yläpohjan liittymät. (42, s. 17, 59.)

Hirsitalon välipohjan ja ulkoseinän liittymän ilmansulkukerroksessa ei aiheudu epäjatkuvuuskohtaa, jos ylä- ja alakerta ovat molemmat hirsirakenteisia. Jos yläkerta on puurankarakenteinen, toteutetaan sen ilmanpitävyys kuten rankarakenteisissa taloissa, jolloin yläkerran ilmansulkukerroksen täytyy jatkua yhtenäisenä myös välipohjaliitoksen kohdalla. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi tiivistämällä yläkerran ilmansulkukalvo ylemmän kerroksen alaohjauspuuhun ja vaahdottamalla välipohjapalkkien väliin tiivis solumuovieristelevy. Rakenne vaatii toteutusvaiheelta etukäteissuunnittelua ja tarkkuutta, jotta liitoksesta tulee kauttaaltaan tiivis. (42, s. 68–72.)

Puurakenteiset yläpohjat

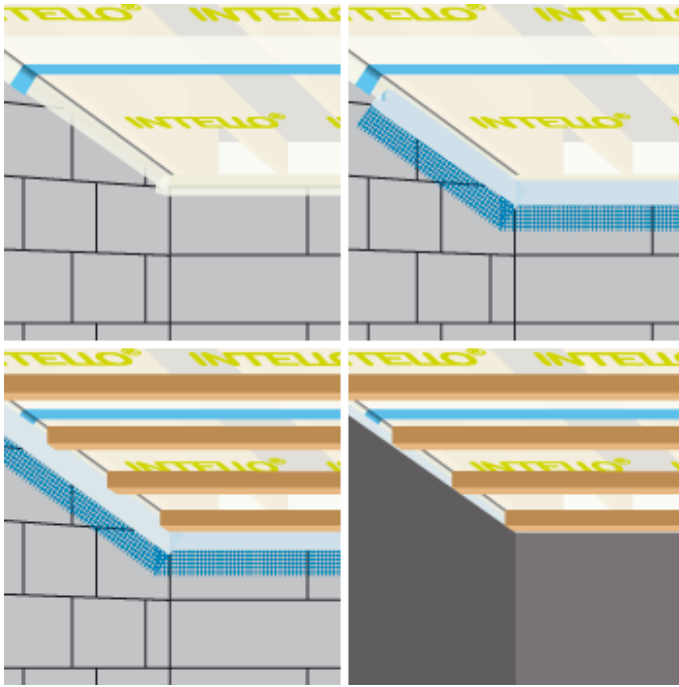
Puurakenteisten yläpohjien ilmanpitävyys toteutetaan puurankaseinien tapaan joko kalvomaisella tai riittävän vesihöyrynvastuksen omaavalla levymäisellä ilmansulkukerroksella. Asennuksessa käytetään samanlaisia työmenetelmiä kuin puurankarakenteisten ulkoseinien ilmanpitävän kerroksen toteutuksessa. Yläpohjan höyrynsulkumuovin liitoksien tiivistykseen on silti kiinnitettävä ulkoseiniäkin enemmän huomiota ja reikiä on syytä välttää niin paljon kuin mahdollista, sillä rakennuksen yläosa on alaosa useammin ylipaineinen. (15, s. 61; 39, s. 26–27.)

Ilmansulkukalvon liitokset tulee yläpohjassa puristaa ja teipata yhteen tiiviisti ja riittävällä limitysleveyksillä, samoin kuin puurakenteisten ulkoseinien ilmansulun yhteydessä esitettiin. Puristettavat jatkoskohdat sijoitetaan alaslaskurimoituksen alle. Jotta puristusliitos saadaan yläpohjassa jatkuvaksi, ristikoiden väliin asen-

netaan vastakappalerimat tai rakenne ristiinkoolataan. Kalvomaista ilmansulkua käytettäessä on myös varmistettava, etteivät yläpuoliset lämmöneristeet pääse painamaan ilmansulkukalvoa ja teippauksia niin, että ne ajan saatossa venyisivät tai rikkoontuisivat. Haitallinen painuma estetään riittävän tiheällä (vähintään k400) alaslaskurimoituksella, joka toimii samalla sähköasennusten vaatimana asennustilana. Levymäisen ilmansulkukerroksen kanssa asennusväli suositellaan toteutettavaksi ristiinkoolauksena. (42, s. 18–20.)

Yläpohjan ja ulkoseinän ilmansulkukerroksen yhdistämiseen tulee työmaalla kiinnittää huomiota, sillä kuten aiemmin on todettu, yläpohjan ja ulkoseinien liitokset ovat tyypillisimpiä pientalon ilmanvuotokohtia. Puurankarakenteisissa seinissä yläpohjan ilmansulkukalvo limitetään seinän ilmansulkukalvon kanssa ja puristetaan liitos tiiviiksi seinän yläosaan ruuvein kiinnitetyllä rimalla. Limitys voidaan tehdä joko tuomalla yläpohjan ilmansulku ulkoseinälle tai toisinpäin, mutta tärkeintä on, että limityspituus on reilu. Nurkissa ilmansulkukalvot laskotetaan löyhästi, limitetään ja teipataan yhteen. Levymäisiä ilmansulkuja käytettäessä yläpohjan ja ulkoseinän liitoskohta vaahdotetaan tiiviiksi ja lisäksi teipataan huolellisesti ilmansulkuteipillä. (42, s. 51–55.)

Harkkorakenteisen ulkoseinän ja puurakenteisen yläpohjan liitos on yksi kivitalon potentiaalisimmista ilmanvuotokohdista. Yläpohjan ilmansulkukerros täytyy saada liitettyä tiiviisti ja pysyvästi ulkoseinän ilmansulkukerrokseen. Tiivistysperiaatteet ovat samat kuin puurakenteisten seinien kohdalla: yläpohjan ilmansulku kiinnitetään ulkoseinää vasten alaslaskuriman ja ruuvikiinnityksen avulla. Liitos voidaan tiivistää esimerkiksi polyuretaanivaahdolla tai muulla tarkoitukseen sopivalla liimatiivistysmassalla. Liitoskohtaan voidaan käyttää myös erillistä, tarkoitukseen valmistettua liitoskangasta, joka liimataan yläpohjan kalvomaiseen ilmansulkuun ja kiinnitetään ulkoseinään tasoitteella (kuva 7). Yläpohjan ja ulkoseinän ilmansulkukerroksien liittymässä noudatetaan pääsääntöisesti yläpohjan ilmansulun valmistajan toteutusohjeita, mikäli sellaisia on saatavilla. (20; 42, s. 45.)



KUVA 7. Esimerkkiratkaisu yläpohjan ilmansulkukerroksen tiivistämisestä kivirakenteiseen ulkoseinään rakennuksen sisänurkan kohdalla (20)

Hirsirakenteisessa talossa puuyläpohjan ilmansulkukalvo kiinnitetään hirsiseinään puristusliitosten ja teippauksen avulla käyttäen samoja periaatteita kuin puurankarakenteisen talon yläpohjan ja ulkoseinän liitoksen ilmanpitävyyden toteuttamisessa. Hirsikehikon on voitava kuitenkin painua ilman rakenteiden ilmanpitävyyden heikentymistä, joten yläpohjan ilmansulkukalvo tulee asentaa hirsiseinän ja yläpohjan liitoskohdassa aina ”pussille” painumavaraksi. (42, s. 59.)

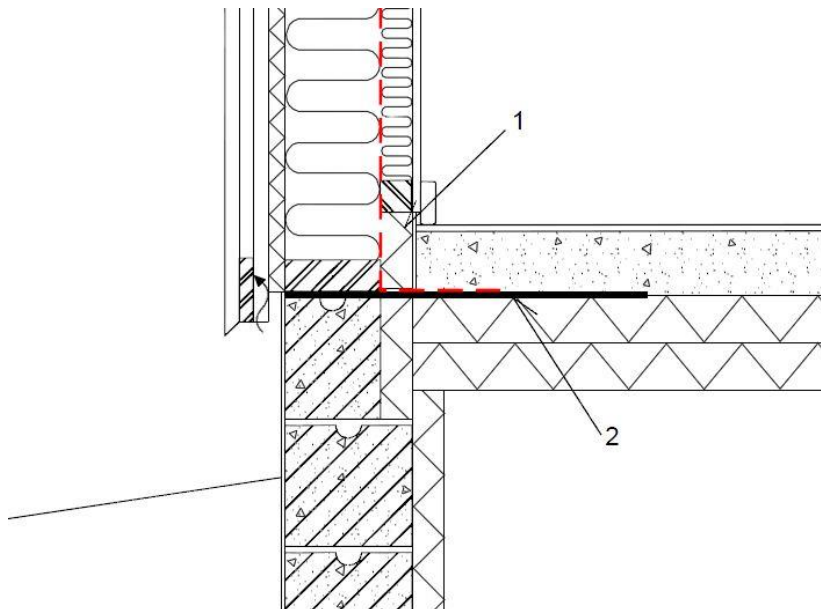
Maanvastaiset alapohjat

Maanvastaisten alapohjien teräsbetoni laatat ovat rakenteina itsessään ilmanpitäviä, joten työmaatoteutuksessa täytyy huomio kiinnittää alapohjan liitos- ja läpivientikohtiin. Tiiviit alapohjarakenteet ja -liitokset edesauttavat erityisesti hyvän sisäilman saavuttamisessa. Tiiveyden varmistamiseksi mahdolliset sokkeli-harkot suositellaan pinnoitettavaksi molemmin puolin. (42, s. 22–33.)

Energiatehokkaissa rakennuksissa alapohja on useimmiten paksummin eristetty kuin tavanomaisesti rakennetuissa pientaloissa. Betonilaatan mahdollinen suurempi painuma on otettava huomioon alapohjan ja ulkoseinien välisten liitoksien

sekä läpivientien tiivistämisessä. Tiivistykseen käytettävien materiaalien on oltava niin elastisia, että liitos on ilmanpitävä, vaikka lattia hieman painuisikin. Tiivistys tulee myös tehdä tarpeeksi leveästi ja paksusti, jotta betonin kuivumiskutistuma tai läpivientien mahdolliset liikkeet eivät riko saumakohtaa. Alapohjalaatan keskiosalla sijaitsevat läpivientiputket voidaan tiivistää varmimmin valun ja kittauksen yhdistelmällä. Suuret läpivientivaraukset on suositeltavaa tiivistää myös sisäpuolelta, esimerkiksi muovipussiin tehdyllä polyuretaanivaahdotuksella, mikä on läpivientiä myöhemmin tarvittaessa helposti poistettava ratkaisu. (15, s. 85; 42, s. 22.)

Ulkoseinien ja maanvastaisten alapohjan liitos voidaan toteuttaa monella tavalla. Puurakenteisen ulkoseinän ja maanvastaisen alapohjan liitos voidaan tehdä esimerkiksi kuvan 8 periaatteen mukaisesti. Ratkaisussa radonkaistana käytettävä kumibitumikermi tuodaan seinän alajuoksun alta eristelevyjien yläpuolelle ja ulkoseinän ilmansulkukalvo käännetään radonkaistan päälle. Yläpuolisen betonilaatan paino tiivistää rakenteen. Tiivistysrakenne soveltuu pientalokohteisiin, joissa ulkoseinät tehdään ennen lattialaatan valua. Betonivalun ja ulkoseinän väliin asennetaan kaistale kovaa eristettä, jolloin seinärakenne ei joudu kosketuksiin betonin kanssa. (42, s. 22, 28.)



KUVA 8. Tyypillinen puurakenteisen seinän ja maanvastaisen alapohjan liitosratkaisu (42, s. 28)

Kivirakenteisten seinien ja maanvastaisen alapohjan liitoksessa tiiveys toteutetaan kumibitumikermikaistan huolellisella asennuksella, samalla perusajatuksella kuin edellisessä kuvassa 8. Seinän ja betonilaatan sauma tiivistetään lisäksi elastisella kitillä, jotta liitoskohta ei betonilaatan kuivuessa avaudu. (42, s. 25.)

Läpiviennit sekä ikkunoiden ja ovien liittymät

Kaikki ilmanpitävän kerroksen läpiviennit tulee aina asennuksen yhteydessä tiivistää. Runkorakenteesta ja tiivistysmenetelmästä riippumatta vaipparakenteen läpäisevillä rakennusosilla on suuri vaikutus rakennuksen ilmanpitävyyteen. Heikosti tiivistetyt läpiviennit voivat huonontaa rakennuksen kokonaistiivyyttä sekä aiheuttaa huomattavia paikallisia ilmavuotoja. Tyypillisimpiä läpivientejä pientaloissa ovat sähkö- ja putkiläpiviennit, ilmastointikanavat sekä savuhormit. Kuten muussakin tiivistystyössä, huolellinen ja tarkka työsuoritus on onnistuneen läpivientitiivistyksen edellytys. (42, s. 84.)

Jokaisesta läpiviennistä olisi hyvä tehdä työmaalle valvojan tai suunnittelijan tarkastama esimerkkiasennus, varsinkin jos läpivientitapa on uusi (11, s. 168). On myös tärkeää, että höyrynsulkukalvon läpivientikohdat tiivistetään heti asennuksen jälkeen, jotta rakennusaikaista kosteutta ei pääse konvektion vaikutuksesta rakenteisiin (39, s. 43).

Kalvomaisten ilmansulkujen kanssa suositellaan yksittäisten läpivientien tiivistykseen käytettäväksi tehdasvalmisteisia läpivientikauluksia. Usean kanavan tai sähköjohdon läpivienneissä voidaan käyttää solumuovieristyslevyistä tehtyjä kauluksia, johon ryhmä vaahdotetaan. Valmiit läpivientilaipat on yleensä valmistettu joustavasta EPDM-kumista ja kokoja löytyy putkikokojen mukaisesti. Laippojen asennuksessa tulee aina noudattaa valmistajan ohjeita ja varmistaa, että tiiviste tarttuu tasaisesti sekä läpivienttiin että ilmansulkukalvoon. Läpiviennit voidaan tiivistää myös teipillä, jos sopivan kokoisia valmiita tiivisteitä ei ole saatavilla. Teippejä käytettäessä täytyy aina varmistaa riittävä tarttuvuus, kestävyys ja pitkäikäisyys. Työmaalla on lisäksi huolehdittava, että kiinnitysalusta on pölytön ja kuiva, jotta läpivientien tiivisteet ja teipit tarttuvat kunnolla kiinni alustaan. (42, s. 84.)

Kivi- ja hirsirunkoisen pientalon läpiviennit tiivistetään pääasiassa polyuretaanivaahdolla tai kittaamalla. Vaahdotus on käyttökelpoinen tapa myös puurankarakenteissa, joissa ilmansulkuna käytetään levymäistä, muovipohjaista ilmansulkua. Vaahdottamalla tehdyissä läpivientitiivistyksissä sovelletaan samoja vaahdotusohjeita kuin tässä osiossa on aikaisemmin esitetty puurakenteisten ulkoseinien ilmanpitävyyden toteutuksessa levymäisillä tuotteilla. (42, s. 84.)

Ikkuna- ja oviaukkojen tulee yhdistyä tiiviisti seinärakenteen ilmanpitävään kerrokseen, sillä näiden liittymien heikko toteutus on usein syynä rakennuksen tiivisongelmiin ja vetohaittoihin. Liitoksien toteuttamisessa noudatetaan samoja periaatteita kuin muidenkin ilmansulun jatkoskohtien tiivistämisen yhteydessä. Kalvomaisia ilmansulkuja käytettäessä höyrynsulkumuovi tiivistetään puristusliitoksen ja teippauksin aukkojen ympärille. Aukkokohdissa kalvo leikataan siten, että reunoille jää taittovara, jonka avulla ikkunan tai oven liittymä saadaan yhdistymään tiiviisti ulkoseinän ilmansulkukalvoon. (38, s. 34–38; 42, s. 80–81.)

Puu- ja kivitaloissa ikkunoiden ja ovien kiinnittämiseen käytetään tavanomaisesti polyuretaanivaahdotusta. Rankarakenteisissa seinissä ikkunoiden ja ovien liittymät ulkoseinän ilmanpitävään kerrokseen tulee vaahdotuksen lisäksi tiivistää myös elastisella saumamassalla. Vaahdotus tulee tehdä vähintään kahdessa kerroksessa, jotta liitos olisi mahdollisimman ilmanpitävä. Ilmanpitävyyden varmistamiseksi ei vaahtosaumaa saisi leikata, sillä vaahdon tiivis pinta toimii liitoksen ilmanpitävänä kerroksena. Liitossaumojen yliteippauksella voidaan ilmanpitävyyttä parantaa, mutta käytettävän teipin tulee olla ilmanpitävien liitosten toteutukseen valmistettua erikoisteippiä. Jos sauman täyttöön käytetään mineraalivillakaistaa, on sisäpuolisen ilmatiiveyden varmistamiseen käytettävä pohjanauhaa ja elastista saumamassaa tai erikoisliimanauhaa. Kivitaloissa tulee ilmanpitävän sisärappauksen ulottua aivan ikkunan reunaan asti, jotta se liittyy luontevasti ikkunan tiiviiseen kerrokseen. (15, s. 18–19, 114–115; 39, s. 42–43.)

Hirsirakenteisissa pientaloissa tulee ikkunoiden, ovien ja läpivientien tiivistyksessä aina huomioida rakenteen painuminen. Ikkuna- tai oviaukon tai seinän läpiviennin yläpuolelle jätetään asennuksessa riittävä painumavara, joka täytetään esimerkiksi mineraalivillalla. Sisäpuolelle kiinnitetään varsinainen ilmansul-

kukaista, joka voi olla esimerkiksi höyrynsulkumuovi tai tiivistysteippi. Tärkeää on, että kaista on asennettu niin löyhästi, että se kestää hirsikehikon painumisen aiheuttamat liikkeet rikkoontumatta. (42, s. 82–83.)

4.4 Työmaan kosteudenhallinta

Kosteudenhallintaa ei voi ajatella vain työmaan laadunvarmistuksen yksittäisenä toimenpiteenä, sillä onnistunut kosteudenhallintaprosessi on katkeamaton ja kehittyvä laadunhallintaketju, jolla ohjataan rakennuksen kosteusteknistä suunnittelua ja työnaikaisia kosteusrasituksia. Kosteudenhallinta on huomioitava pientalon elinkaaren kaikissa vaiheissa, alkaen rakennuksen suunnitteluvaiheen kosteusteknisten lähtötietojen määrittelystä ja jatkuen rakennuksen ylläpitoon ja käyttöön. Rakentamisvaihe on pientalon kosteudenhallinnan kannalta hyvin kriittinen, sillä silloin ulkoinen ja materiaaleista vapautuva kosteusrasitus on suurimmillaan. (46, s. 19–20, 57.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C2 sanotaan, että rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei siitä aiheudu sen käyttäjille terveysriskejä kosteuden haitallisen kertymisen vuoksi (44, s. 3). Työmaan kosteudenhallinta tai olosuhdehallinta käsittää ne rakentamisvaiheen toimenpiteet, joiden avulla pyritään estämään ylimääräisen ja vahinkoa aiheuttavan kosteuden kertyminen rakenteisiin. Kosteudenhallinta on jo nyt rakentamisen laadun tärkeimpiä osatekijöitä ja sen merkitys tulee kasvamaan entisestään siirryttäessä yhä paksumpien rakenteiden käyttöön. Työmaan olosuhdehallinnan tärkeimmät tavoitteet ovat materiaalien ja keskeneräisten rakenteiden kastumisen ehkäisy, rakenteiden riittävien kuivumisaikojen varmistaminen sekä kuivatustarpeen vähentäminen. (46, s. 94–95.)

Suunnitteluvaiheessa voidaan jo vaikuttaa rakentamisen aikaiseen kosteudenhallintaan suunnitteluratkaisuilla, järjestelmällisellä työsuunnittelulla sekä laatimalla pientalotyömaalle kosteudenhallintasuunnitelma. Kosteudenhallintasuunnitelma on tärkeä laatutyökalu rakennustyömaan onnistuneessa olosuhdehallinnassa ja se tulisi aina tehdä kohdekohtaisesti, vastaamaan työmaan erityispiirteitä ja vaatimuksia. Kosteudenhallintasuunnitelmassa tulee määritellä ainakin rakennuksen kosteustekniset riskikohdat ja niiden hallittu toteutus, työnai-

kaiset kosteudenhallintatoimenpiteet sekä käytettävät laadunvarmistusmenetelmät. Hyvää kosteudenhallintasuunnitelmaa tarkennetaan vielä rakennusvaiheessa, ja käytettävät suojausmenetelmät ja -käytännöt dokumentoidaan osaksi suunnitelmaa. (46, s. 94–95.)

Energiatehokkaassa rakentamisessa kosteudenhallinta on erittäin keskeinen osa työmaatoteutuksen laatua. Pientalotyömaan oikeaoppisella ja oikea-aikaisella suojauksella pienennetään materiaalihukkaa, estetään kosteuden aiheuttamat rakenneauriot ja ulkonäölliset laatuvirheet sekä usein myös terveyshaittojen syntyminen. Työmaan laadukas kosteudenhallinta lisää jonkin verran rakentamiskustannuksia, mutta suojaukseen käytetty pääoma voi maksaa itsensä takaisin hyvinkin nopeasti, esimerkiksi pienentyvänä takuukorjaustarpeena. Rakennuksen sääsuojaus vähentää lisäksi veden ja lumen poiston tarvetta sekä parantaa työolosuhteita, mikä puolestaan edesauttaa muun rakentamisen laadun toteutumista ja työmaan aikatauluissa pysymistä. (46, s. 95.)

Tyypillisimpiä työmaa-aikaisen kosteusrasituksen aiheuttajia ovat vesi- ja lumisateen sekä jään aiheuttama rakennusmateriaalien kastuminen, ulkoseinien ja muiden rakenteiden sisään valuva vesi sekä ennakoimattomat, paikalliset kosteuslähteet, kuten putkivuodot tai huolimaton vedenkäyttö työmaalla. Myös sisätilojen betonivalut aiheuttavat rakennukseen suuria kosteuskuormia, joiden poistuminen on aina varmistettava. (39, 14–17.)

Energiatehokkuuskorttelin tarkkailukohteissa seurataan ja arvioidaan kosteudenhallinnan toteutusta koko työmaavaiheen ajan. Kosteudenhallinnan tarkkailussa keskitytään eritoten työnaikaiseen kosteudenhallintaan, joka perustuu ensisijaisesti seuraavien otsikoiden alle kerättyjen suojaustoimenpiteiden toteutukseen. Märkätilaeristystä, rakennuksen pellityksiä, pintavesien poistoa tai rakennuspohjan kuivatusta ei tarkastella tässä työssä, vaikka ne ovatkin omalta osaltaan keskeisessä osassa pientalon kosteudenkestävyydessä.

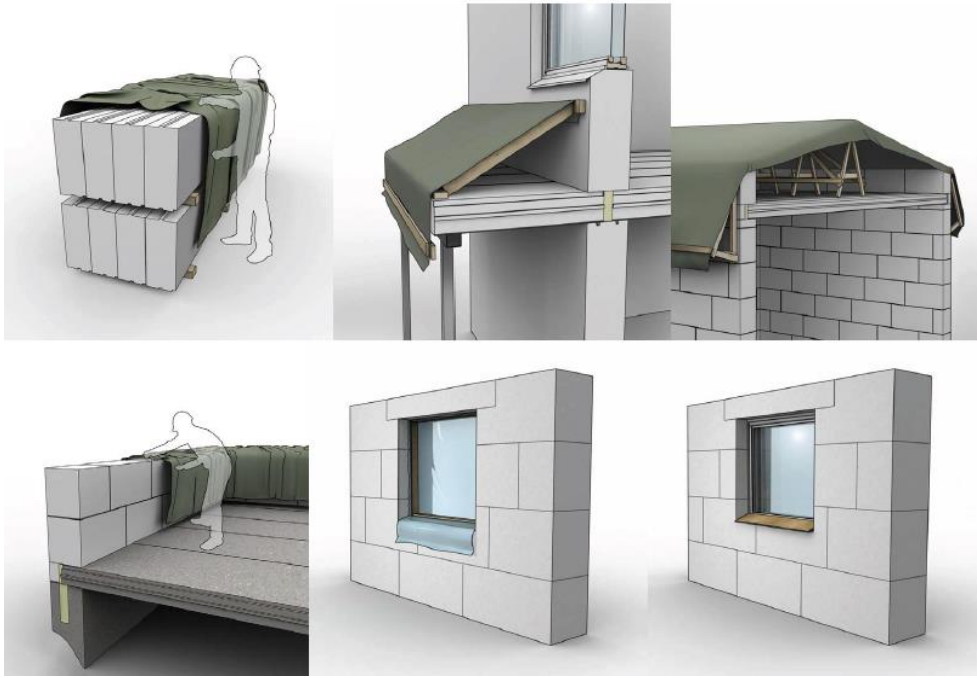
Materiaalien ja keskeneräisten rakenteiden suojaus

Laadukkaalla kosteudenhallinnalla voidaan estää rakenteiden ja materiaalien työnaikainen kastuminen kokonaan, mikä onkin lähtökohta energiatehokkaiden vaipparakenteiden riskittömälle rakentamiselle. Työmaalla säilytettävien raken-

nusmateriaalien ja tarvikkeiden määrä tulisi rajoittaa vähimmäismäärään suunnittelemalla materiaalitoimitukset ja työvaiheikataulut huolellisesti etukäteen. Tuotteet tulee toimittaa työmaalle kuivana ja suojata saapuvat rakennustarvikkeet välittömästi. Monet rakentamiseen käytettävät materiaalit voivat liiallisen kosteuden vaikutuksesta muuttua täysin käyttökelvottomiksi tai menettää säilyvyys- ja kestävyysominaisuuksiaan. Erityisesti kipsi- ja lastulevyt, ikkunat ja ovet, eristeet, puutuotteet, laastit ja muut kosteusherkät materiaalit vaativat huolellisen suojauksen. On myös huomattava, että hyvin kosteutta sietävät rakennusaineet, kuten betonituotteet, voivat aiheuttaa kosteusvaurioita välillisesti esimerkiksi puurankarakenteisiin. (46, s. 103; 47, dia 3.)

Materiaalisuojauksiin tulee käyttää erillisiä, asianmukaisia suojapeitteitä tai suojamuoveja, sillä tehdaspakkaukset ja suojapahvit on tarkoitettu vain kuljetuksen ja tehdasvarastoinnin aikaisiksi suojiksi, eivätkä ne välttämättä ole vedenpitäviä. Työmaalla on aina oltava saatavilla riittävästi kunnollisia suojaustarvikkeita ja varastointitilaa, jotta materiaalit eivät jää resurssien puutteen vuoksi suojaamatta. Sisätiloihin asennettavat rakennusmateriaalit säilytetään työmaalla lämpimissä ja kuivissa tiloissa. Ulos tulevat materiaalit suojataan säältä ja varastoidaan aluspuiden tai lavojen avulla irti maasta (kuva 9). Suojapeitteet kiinnitetään niin hyvin, että ne eivät irtoa kovassakaan tuulessa. Riittävä ilman vaihtuvuus tulee kuitenkin varmistaa suojauksen alla jättämällä esimerkiksi peitteen päädyt hieman avoimiksi. Jos pientalotontille tehdään erillinen autokatos tai varasto, voi olla järkevää tehdä se vesikattovaiheeseen ennen päärakennuksen rakentamista, jolloin ulkorakennusta voidaan käyttää materiaalien varastointiin (47.)

Keskeneräiset rakenteet on suojattava, kunnes rakennusvaippa on täysin ummessa. Sadevesi tai lumi eivät saa missään vaiheessa tunkeutua eristetilaan tai muihin vaikeasti kuivattaviin paikkoihin. Täysin kuivaa rakentamistapaa tulee noudattaa ainakin puurakentamisessa heti runkovaiheesta alkaen ja muussa uudisrakentamisessa vähintään täydentävistä rakenteista eteenpäin. Energiatehokkaassa rakentamisessa kuivan rakentamisen periaatteen tulisi olla käytössä poikkeuksetta. Esimerkkejä rakennusrungon työnaikaisista suojaustavoista on esitetty kuvassa 9. (48, diat 5–8.)



KUVA 9. Materiaali- ja työvaihesuojauksia (47, dia 25)

Rakenteiden päällä seisova lumi tai vesi täytyy aina poistaa mahdollisimman nopeasti. Myös suojapeitteiden päälle syntyneet lammikot ja kinokset tulee poistaa. Lumi ja jää poistetaan mieluummin mekaanisesti kuin sulattamalla, sillä sulattaminen voi aiheuttaa rakenteiden kastumisen laajemmalla alueella. Rakennustyöt kannattaa suunnitella huolellisesti etukäteen ja toteuttaa ne pienissä paloissa, jolloin suojaukset ehditään tehdä jokaisen työpäivän päätteeksi, eivätkä rakenteet pääse kastumaan missään vaiheessa. (46, s. 102–103.)

Rakennusrungon kastumisriskiä voidaan vähentää esimerkiksi valmiselementtien käytöllä ja/tai asentamalla vesikatto paikalleen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa rakentamista. Vesikatto voidaan tehdä valmiiksi maassa ja nostaa se kokonaisuena paikalleen, jolloin runko on suojattuna välittömästi. Rakennusrungon sivut ja aukot täytyy suojata nopeasti ja tarvittaessa käytetään ikkuna- ja oviaukkojen kohdalla väliaikaisia suojakankaita tai -peitteitä ennen ikkuna- ja oviasennuksia. Avoimet aukkokohtat on tärkeää pitää ummessa, sillä niiden kautta voi rakennukseen päästä paljonkin kosteutta kovalla sateella ja tuulella. Jos runkorakenne on eristetty ulkopuolelta, suojataan eristetty rakenne asennuksen jälkeen välittömästi. Erityisesti leikatut ja avoimet eristepinnat on huomionarvoista pitää kuivana, sillä ne imevät itseensä tehokkaasti vettä. Pientalo

voidaan rakentaa myös huputettuna, eli kokonaan sääsuojan alla, jolloin rakennusrunko on suojattuna luotettavasti koko rakentamisen ajan. (45; 46, s. 103.)

Rakenteiden kuivatus

Rakenteet pitäisi lähtökohtaisesti pystyä tekemään täysin kosteudelta suojattuna, jotta kuivatustarve olisi mahdollisimman pieni. Kuivatustarvetta syntyy rakennukseen kaikesta huolimatta aina jonkin verran rakennusmateriaaleista, betonivaluista ja rakenteiden pintakäsittelyistä johtuen. Kosteuden kuivuminen varmistetaan riittävällä tuuletuksella ja rakennuksen lämmittämällä. Jotta pientalo kuivuisi tehokkaasti, on sisälämpötilan oltava yli 10 °C ja ilman suhteellisen kosteuden enintään 70 %. (48.)

Rakennuksen toteutusvaiheen kuivatus tulee suunnitella jo hyvissä ajoin etukäteen, eikä vasta työmaaolosuhteissa. Vain etukäteissuunnittelulla työmaalle kyetään varaamaan riittävästi lämmittimiä, kuivaimia ja ennen kaikkea tarpeeksi aikaa kuivatusta varten. Suunniteltaessa kuivatustarvetta on tärkeää huomioida vuodenajat: Talvella rakenteet saadaan parhaiten kuivatettua lämmittämällä sisäilmaa, loppusyksyllä ja keväällä ilmanvaihdon tehostaminen on tehokkaampaa. Kesällä ja alkusyksystä puolestaan ulkoilman kosteussisältö on niin suuri, että työmaalla voidaan vaatia kosteudenkerääjien käyttöä. Runsasta kosteustuottoa sisältävien työvaiheiden, kuten betonivalujen sekä sisäpuolisten tasoitus- ja laatoitustöiden jälkeen työmaalle vaaditaan lähes aina tehostettua kuivatusta. Rakenteiden kuivumista tulisi seurata työmaalla sisäilman lämpötila- ja kosteusmittauksella mielellään koko rakentamisvaiheen ajan. (46, s. 104–105; 47, diat 32–33.)

Betonin kosteus on mitattava työmaalla aina ennen pinnoitustöitä. Mittauksia on tehtävä työmaalla riittävän aikaisessa vaiheessa, jotta kuivumista ehditään tarvittaessa tehostaa. Mittaukset suoritetaan rakennuksen kosteimmista paikoista, kuten ulko-ovien, ikkunoiden tai hormien lähetyviltä. Myös lämpökamerakuvausella voidaan paikantaa rakenteissa olevaa kosteutta, sillä määrit kohdat ovat yleensä ympäristöään kylmempiä. Sopiva pinnoitettavuuskosteus riippuu pinnoitusmateriaalista, joten pinnoitevalmistajan antamat suositusarvot tuleekin aina tarkistaa työmaakohtaisesti. (46, s. 99–100; 48)

Vesivahinkotapauksissa tai suojausten pettäessä on vesi tai lumi poistettava heti, selvitettävä vahingon laajuus ja aloitettava kuivaustoimet välittömästi, jotta välttyään suuremmilta vahingoilta ja aikatauluviivästyksiltä. Aina tulee myös selvittää, mistä vesivahinko on aiheutunut, ja valistaa henkilökuntaa jatkotoimenpiteistä ja huolellisuudesta tulevaisuudessa. Kosteuden poistuminen on varmistettava erillisin mittauksin. On tärkeää, että tapahtuneista vesivahingoista ilmoitetaan työnjohdolle, sillä esimerkiksi betonin pinta kuivuu nopeasti ja kastunut kohta voi päällepäin näyttää täysin kuivalta, vaikka se pintaosia syvemmältä olisi vielä märkä. (46, s. 103.)

4.5 Laadunvalvonta ja työmaan laadunvarmistus

Energiatehokkaassa rakentamisessa toteutusvaiheen laadunvarmistus, ammatitaitoinen henkilöstö ja valvonta ovat merkittävässä asemassa. Tarvittaessa työnjohtoa ja työntekijöitä voidaan kouluttaa työvaiheita ja työmaan laaduntarkkailua varten. Ensisijaisen tärkeää on, ettei työhön opastuksessa ja laadunvalvontatoimenpiteissä ole aukkoja. Työmaan tehokkaaseen laadunvarmistukseen kuuluu myös tiedonkulun varmistaminen eri osapuolten välillä erityisesti silloin, kun toteutussuunnitelmat tai aikataulut muuttuvat. (11, s. 47–48; 46, s. 110.)

Rakennusaikana tehtävät virheet voidaan yleensä välttää työmaan työnaikaista valvontaa tehostamalla. Onnistuneen työmaavalvonnan edellytyksenä on, että rakennuttaja tiedostaa valvonnan merkityksen ja luo valvonnan onnistumiselle riittävät edellytykset. Pientalotyömailla ei laadunvalvonta yleensä ole yhtä intensiivistä kuin suurilla työmailla, mutta myös pientalojen rakentamisessa on tärkeää, että työmaatoteutuksen laatua valvotaan riittävän tehokkaasti sekä työnjohdon että työntekijöiden toimesta. Energiatehokkaissa rakennushankkeissa voi joskus olla tarpeellista liittää rakennusprojektiin erillinen energiatehokkuusasiatuntija valvomaan energiatehokkuuden toteutumista tai käyttää laadunvarmistuksessa suunnittelua ja toteutusta ohjaavaa sertifiointimenettelyä. (4, s. 140; 11, s. 47.)

Rakennushankkeeseen ryhtyvällä on maankäyttö- ja rakennuslain mukaan velvollisuus huolehtia siitä, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan säännösten ja määräysten sekä myönnetyn luvan mukaisesti. Huolehtimisvelvollisuus kos-

kee myös esimerkiksi rakennuksen turvallisuutta, terveellisyyttä ja energiatehokkuutta. (49, 117 c–117 g §, 119 §.) Rakennuttaja myös asettaa tavoitteet ja vaatimukset pientalon energiatehokkuudelle (11, s. 42). Rakennuttajana toimii pientalorakentamisessa yleensä pientalon tuleva omistaja, joka palkkaa avukseen pätevän asiantuntijahenkilöstön hoitamaan työmaan suunnittelu-, johto- ja valvontatehtäviä sekä tarkkailemaan rakentamisen laatua. Rakennuttajana voi toimia myös talotehdas tai urakoitsija, jolloin rakentaminen, suunnittelu, työnjohto sekä toteutuksen valvonta voivat tulla samasta yrityksestä.

Pientalorakentamisen toteutusvaiheessa rakennushankkeen pääsuunnittelija ja vastaava työnjohtaja ovat yleensä merkittävimmät asennusryhmän ulkopuoliset toteutusvaiheen laaduntarkkailuun osallistuvat henkilöt. Erillistä valvojaa voidaan pientalohankkeessa tarvita silloin, kun vastaava työnjohtaja on rakennusliikkeen tai talotehtaan palveluksessa. Myös rakennusvalvontaviranomaiset valvovat rakentamisen laatua rakennusluvassa määrätyillä viranomaiskatselmuksilla. (4, s. 140–144.) Erillisen valvojan ja rakennusvalvontaviranomaisten tehtäviä ei tässä yhteydessä käsitellä, sillä Energiatehokkuuskorttelin kohteissa ei käytetä ulkopuolisia valvojia ja viranomaistarkastukset hoidetaan normaalien käytäntöjen mukaisesti.

Pääsuunnittelijan vastuulla on varmistaa, että työmaatoteutusta varten laaditaan riittävän kattavat ja yksityiskohtaiset suunnitelmat ja että eri alojen suunnittelijat tekevät yhteistyötä keskenään. Suunnittelun ja toteutuksen välisen tiedonkulun tulee saumatonta ja toimivaa, jotta suunnitelmat ja mahdolliset muutokset päätyvät varmasti toteutusvaiheeseen saakka. Energiatehokkaassa rakentamisessa tarvitaan yleensä määrällisesti paljon toteutussuunnitelmia, jotta kaikki detaljit tehtäisiin työmaalla oikein. Rakennusluvassa tai aloituskokouksessa voidaan pääsuunnittelijalle tai muille suunnittelijoille osoittaa myös rakennustyön valvontaa, mikäli se nähdään tarpeelliseksi. Energiatehokkaassa rakentamisessa on myös tärkeää, että pääsuunnittelijalla on riittävä ammattitaito tavanomaisesta poikkeavien rakenteiden suunnittelun ohjaukseen. (11, s. 38–40; 50, s. 7–10.)

Suunnittelijan olisi tärkeää vierailla työmaalla säännöllisesti, jolloin toteutuksen ja suunnitelmien vastaavuutta valvottaisiin tarkemmin ja rakenteiden mahdolli-

set toteutusongelmat tai -virheet paikannettaisiin tehokkaasti. Käytäntö myös varmistaa, että laaduntarkkailua varten varataan riittävästi aikaa suunniteltuihin työmaa-aikatauluihin. Esimerkiksi saksalaisessa Passivhaus Institutissa ajatellaan, että työmaan laadunvalvonta kuuluu automaattisesti myös suunnittelijoiden tehtäviin. Energiatehokkaassa rakentamisessa pääsuunnittelijan ja muiden suunnittelijoiden tekemä työmaavalvonta onkin erittäin suositeltavaa. (24.)

Vastaavan työnjohtajan päätehtävänä toteutusvaiheessa on vastata työmaan kokonaisuudesta, varmistaa työntekijöiden ammattitaito ja valvoa rakentamisen laatua sekä suunnitelmien noudattamista. Vastaavan työnjohtajan tehtävänä on myös huolehtia, että työmaalla on käytössään ajantasaiset toteutussuunnitelmat ja työntekijöillä on tiedossaan projektia koskevat energiatehokkuusvaatimukset. Työnjohdon tulee tarkistaa, että rakennustyöt tehdään suunnitelmien mukaisesti ja tekniset laatutekijät täyttäen. Energiatehokas rakentaminen tuo rakennustyömaan työnjohdolle lisää vastuuta. Pientalohankkeessa vastaava työnjohtaja ei ole yleensä kokoaikaisesti työmaalla, mutta hänen tulee vierailla siellä tarpeeksi usein, sillä vastuu toteutuksen onnistumisesta on vastaavalla työnjohtajalla. (24; 51, s. 9–11.)

Pääsuunnittelijan ja vastaavan työnjohtajan lisäksi rakennusurakoitsijan ja jokaisen työntekijän tulisi aktiivisesti tarkkailla ja valvoa työnsä laatua rakentamisen yhteydessä. Energiatehokkaassa rakennushankkeessa työntekijöiden täytyy vaatia omalta toteutukseltaan ehdotonta tarkkuutta ja virheettömyyttä. Laatua tulisi myös työmaavaiheessa dokumentoida, esimerkiksi valokuvien ja tarkastusasiakirjojen avulla. Kaikkien työmaan laatua valvovien ja laadun toteutukseen osallistuvien henkilöiden on tunnettava energiatehokkuuteen vaikuttavat yksityiskohdat ja tarkkailtava niitä koko toteutuksen ajan. Koska osapuolia on paljon, työmaan valvonnan tulee olla tehokasta ja vastuualueiden selkeitä, jotta toteutusvaihe hoidetaan onnistuneesti ja laatutavoitteet täyttäen. (11, s. 38–40, 46.)

Energiatehokkaan rakentamisen keskeisiä **laadunvarmistustoimenpiteitä** ovat pientalotyömailla ilmanvuotoluvun mittaaminen, lämpökamerakuvaus sekä ilmanvaihtojärjestelmän säätö ja toiminnan tarkastaminen. Mitä tiiviimmäksi taloja rakennetaan, sitä tärkeämmässä roolissa ilmanvaihdon huolellinen säätäminen

on, sillä epätasapainossa olevan ilmanvaihtojärjestelmän haittavaikutukset korostuvat rakennuksen tiiviyn kasvaessa. Ilmanpitävyysmittaukset antavat ilmanvuotoluvun lisäksi viitteitä myös toteutuksen kokonaislaadusta, sillä ilmanpitävän kerroksen työmaatoteutus vaatii yleensä kaikkein eniten huolellisuutta. Kosteudenhallinnan laadunvarmistusmenetelmänä toimii kosteudenhallintasuunnitelman laatiminen, suunnitelman päivitys sekä rakenteiden kosteus- ja pinnoitettavuusmittaukset. Hyvä laadunvarmistuskeino on myös dokumentoida kriittiset työvaiheet ja toteutetut rakenneratkaisut valokuvien avulla. Kaikki laadunvarmistustoimenpiteet on tarpeen määritellä sopimusasiakirjoissa, jotta toimenpiteet varmuudella toteutetaan ja aikatauluista varataan niille riittävästi aikaa. (11, s. 49–50.)

Energiatehokkuuskorttelin tarkkailukohteissa pyritään arvioimaan työmaatoteutuksen laadunvalvontaa ja laadunvarmistusta pääsuunnittelijan, vastaavan työnjohdon ja työntekijöiden suorittaman laaduntarkkailun ja käytettävien laadunvarmistustoimien perusteella. Laadunvalvonnan onnistumista voidaan kohteissa arvioida lähinnä vertaamalla valvonnan tehokkuudesta tehtyjä havaintoja ja lopputuloksen laatua keskenään. Työmaavierailuilla pyritään myös seuraamaan, toteutetaanko Energiatehokkuuskorttelin pientalokohteissa kaikki energiatehokalle rakentamiselle tärkeät laadunvarmistustoimenpiteet.

5 LAADUN TOTEUTUMINEN TARKKAILUKOhteissa

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää havainnointiin pohjautuvan työmaatarkkailun avulla, millä tasolla työmaatoteutuksen laatu on pientalorakentamisessa. Tutkimustyö aloitettiin pohtimalla, mitkä ovat energiatehokkaiden rakenteiden kannalta merkittävimmät työmaatoteutuksen osa-alueet, joiden toteuttamisen epäonnistuminen voi vaarantaa lopputuotteen, energiatehokkaan pientalon laadun. Näiden tekijöiden – toimivan lämmöneristyksen, kylmäsiltojen välttämisen, erinomaisen ilmatiiviynen, työmaan kosteudenhallinnan sekä työmaan valvonnan ja laadunvarmistuksen – oikeaoppisesta ja virheettömästä toteutuksesta kerättiin mahdollisimman kattava tietopohja, jonka pääkohdat on esitetty edellisessä luvussa 4. Koottua aineistoa käytettiin työmaatarkkailujaksolla tehtyjen havaintojen pohjana.

Lähtötietomateriaalin keräämisessä keskityttiin tutkimaan erityisesti tarkkailukohteissa käytettyjä rakenneratkaisuja ja niiden onnistuneen työmaatoteutuksen laatuvaatimuksia ja ominaispiirteitä. Ennen tarkkailujakson aloittamista tutustuttiin myös huolellisesti havainnointikohteiden suunnitelma-asiakirjoihin, jotta työmaavierailuilla tehtyjä havaintoja ja rakenteiden oikeaa toteutustapaa voitiin luotettavasti arvioida.

5.1 Tarkkailuprosessin toteutus

Opinnäytetyö toteutettiin seuraamalla Oulun Energiatehokkuuskortteliin rakennettavien pientalojen valmistumista. Kortteliin rakentavat rakennusliikkeet eivät kaikki aloittaneet rakennustöitä samaan aikaan, joten mukaan tarkkailuun ehti neljä ensimmäisenä valmistunutta pientalokohdetta. Kaksi kohteista rakennettiin tarkkailujakson aikana täysin valmiiksi ja kaksi pintojen viimeistelyvaiheeseen asti. Aikataulullisista syistä ei työssä ollut mahdollista seurata kaikkien talojen rakentamista täysin loppuun saakka, mutta jokaisessa tarkkailukohteessa ehdittiin kuitenkin toteuttaa merkittävimmät rakennusvaipan energiatehokkuuteen vaikuttavat työvaiheet ja suorittaa vähintään työnaikaiset tiiveysmittaukset. Energiatehokkuuskortteli ja tarkkailuun osallistuvat kohteet on esitelty aikaisemmin luvussa 3.

Energiatehokkuuskortteli soveltui erinomaisesti energiatehokkaan rakentamisen työmaatoteutuksen arviointiin, sillä kaikki kortteliin rakennettavat talot on suunniteltu erityisesti IEEB-hanketta varten ja talot ovat vähintään matalaenergiata-soa. Rakenteiden suunnittelu ja työmaatoteutus tehtiin kaikissa kohteissa rakennusyrityksen omalla henkilöstöllä. Uudenlaiset rakenteet sekä kohteisiin asennettavat mittauslaitteistot ja hybridilämmitysjärjestelmät saattoivat olla työntekijöille uusia asioita, eikä vastaavanlaisia kohteita ole välttämättä toteutettu yrityksessä aikaisemmin. Yksi kohteista on suunniteltu selvästi tavanomaista energiatehokkaammilla vaipparakenteilla, muissa puolestaan energiatehokkuus on saavutettu ensisijaisesti talotekniikan energiataloutta tehostamalla.

Havaintomateriaalia kerättiin vierailemalla Energiatehokkuuskorttelissa yhdestä kahteen kertaan viikossa 9 kk ajan vuonna 2012. Seurantajakso ajoittui maaliskuun alusta joulukuun loppuun. Tarkkailuajanjakson pituuden ansiosta saatiin dokumentoitua myös vuodenaikojen vaihtelua, mikä antaa paremman kokonaiskuvan työmaan ympärivuotisesta toiminnasta. Kohteissa vierailtiin sekä työaikana että työajan ulkopuolella, jotta havaintomateriaalia saataisiin kerättyä mahdollisimman kattavasti.

Työmaavierailuilla kierrettiin työmaat, haastateltiin työntekijöitä ja seurattiin työvaiheiden toteuttamista ja työvaiheiden lopputuloksen laatua. Jokaisella korttelivierailulla otettiin kohteista valokuvia ja kirjattiin muistiinpanoja, joiden avulla pidettiin myös työmaiden etenemistä seuraavaa projektin sisäistä blogia. Opin näytetyötä varten haastateltiin myös yritysten IEEB-hankkeen parissa työskenteleviä henkilöitä ja kuultiin heidän mielipiteitään omien energiatehokkaiden kohteidensa toteutuksesta ja onnistumisesta. Tarkkailujakson jälkeen rakennusliikkeet saivat kukin omasta kohteestaan kerätyn havaintomateriaalin käyttöönsä rakennusvaiheen dokumentointia ja laadun kehittämistä varten.

Rakentamisen aikana tehtyjä havaintoja verrattiin energiatehokkaalta rakentamiselta vaadittuun laatutasoon ja pohdittiin rakennustyön ja työmaan olosuhteiden hallinnan laatua. Pyrkimyksenä oli paikantaa mahdollisia puutteita tai virheitä toteutuksessa, jotka voivat heikentää energiatehokkaan rakentamisen lopputulosta. Toisaalta korttelivierailujen tavoitteena oli löytää myös erityisen hyvin hallussa olevia työvaiheita, joiden virheetön toteutus ei vaadi enää merkittävää

kehitystä tai koulutusta. Saatujen havaintojen pohjalta arvioitiin erillisiä työvaiheita ja toteutuksen kokonaislaatua. Pohdittiin myös, onko toteutusvaiheeseen mahdollisesti tarpeen lisätä nykyistä enemmän laadunvarmistustoimenpiteitä, valvontaa tai henkilökunnan koulutusta.

5.2 Havainnot ja päätelmät työmaatoteutuksen laadusta

Tarkkailujaksolla kerätyistä havainnoista esitellään tässä yhteydessä ne asiat, joiden onnistuminen nähtiin energiatehokkaan rakentamisen kannalta kaikkein kriittisimpänä. Tarkkailun kohteena ja havaintojen pohjana olivat erityisesti luvussa 4 esitellyt energiatehokkaan rakentamisen toteutuksen avaintekijät ja niiden toteuttaminen työmaalla. Kohteista kerätyt havainnot onkin koottu ryhmiksi näiden avaintekijöiden otsikoita mukaillen.

5.2.1 Lämmöneristyksen toteutus

Jokaisessa puurankarakenteita sisältävässä pientalossa käytettiin ulkoseinäeristeenä levymäistä mineraalivillaa. Kokonaisuutena lämmöneristeiden asennustyö toteutettiin havaintojen perusteella kaikilla työmailla erittäin huolellisesti, eikä merkittäviä rakoja tai kuoppia eristekerroksessa juurikaan havaittu (kuva 10).



KUVA 10. Virheettömiä eristeasennuksia eräässä tarkkailukohteessa

Koko tarkkailujakson aikana kohteissa havaittiin vain muutamia yksittäisiä paikkoja, joissa eristystyö olisi voitu toteuttaa huolellisemmin. Yleensä kyseessä oli pehmeän eristeen asennus kapeaan runkotalppaväliin, mikä saa villalevyn painumaan helposti mutkalle (kuva 11). Tulee kuitenkin huomata, että höyrynsulku muovin asennuksen yhteydessä eristeet yleensä vielä oikaistaan, eivätkä havaitut raot välttämättä jääneet lopulliseen seinärakenteeseen. Yhtä kohdetta lukuun ottamatta mineraalivillaeristys tehtiin ulkoseiniin kahdessa kerroksessa, saumat limittäin, mikä pienentää rakojen merkitystä. Erillisiä konvektiokatkoja ei kohteiden seinärakenteisiin ole suunniteltu.



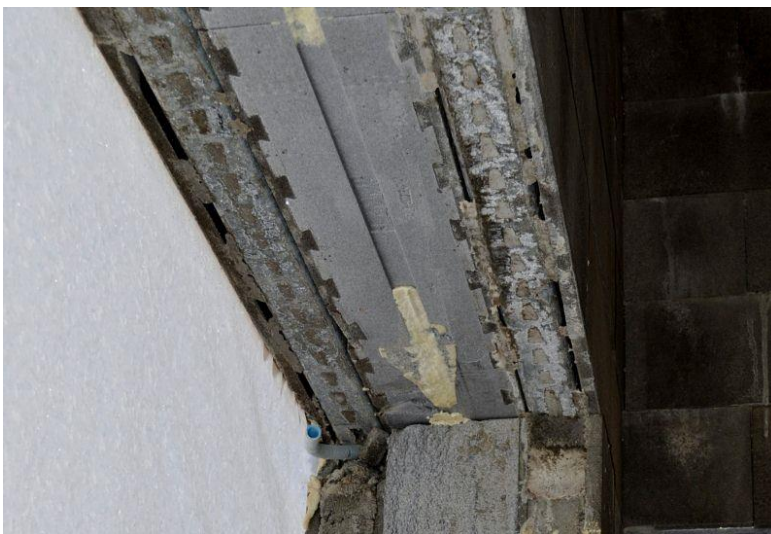
KUVA 11. Raot eristekerroksessa voivat heikentää seinän lämmöneristävyttä

Yhdessä kohteessa käytettiin tavanomaisen eristuksen lisäksi tuulensuojalevyn ulkopuolista eristettä. Ulkopuolinen eristystyö onnistui erinomaisesti, huolimatta siitä, että rakenne oli työntekijöille uusi. Ainoastaan levyjaossa havaittiin muutamia tarpeettomia saumoja, jotka olisi ehkä voitu välttää huolellisemmalla työvaihesuunnittelulla tai laadunvalvonnan tehostamisella (kuva 12). Kyseisessä kohteessa ei eristeen saumoja teipattu, sillä eristeen takana on erillinen tuulensuojalevy. Tästä huolimatta asennuksessa tulisi kuitenkin pyrkiä raottomaan lopputulokseen.



KUVA 12. Saumoja ja ohuita eristesivuja tulisi eristeasennuksessa välttää

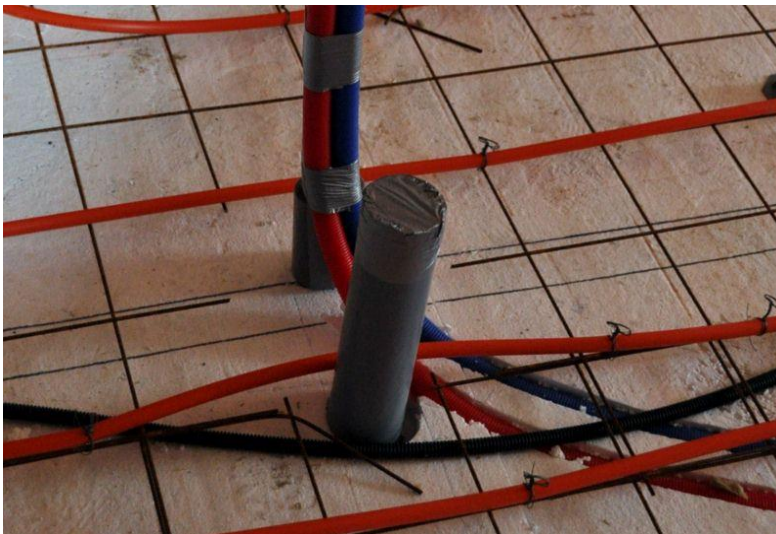
Harkkorakenteisen talon ulkoseinien lämmöneristekerroksen yhtenäisyyttä oli työmaalla vaikeampi todeta, sillä tarkkailujaksoa ei ollut aloitettu ulkoseinäkivien ladonnan aikaan. Toteutusvaiheesta on kuitenkin paljon valokuvia ja myös työntekijöiden kertoman mukaan työ on toteutettu ohjeiden mukaisesti. Havainnointijaksolle ehtineet väliseinämuuraukset antavat kuitenkin hyvän kuvan ladontatyön toteutuksesta, eikä huomautettavaa ainakaan niiden perusteella löydetty. Harkkoseinät vaikuttivat myös myöhemmän havainnoinnin perusteella tasalaa-tuisilta ja polyuretaanivaahtoa on käytetty eristekerroksen saumoihin valmistajan ohjeita noudattaen. (Kuva 13.)



KUVA 13. Polyuretaanivaahtoa on riittävästi eristekerroksien välissä

Yläpohjan eristämiseen käytettiin kaikissa kohteessa puhallettavaa eristettä tai puhallusvillan ja levyvillan yhdistelmää ja alapohjaeristykseen EPS-eristeitä. Koska työmaavierailujen aikatauluja ei ollut suunniteltu työvaiheiden mukaan, ei ylä- ja alapohjaeristysten toteutusta päästy tarkkailemaan jokaisen työmaan osalta. Niissä kohteissa, joissa vierailut ajoittuivat eristysten kannalta sopivaan aikaan, ei puhallusvillakerroksen yhteneväisyydessä tai tuulenhajainten asennuksessa havaittu puutteita. Myös sisäpuolisen tarkkailun perusteella yläpohjien eristekerrokset vaikuttivat jokaisessa kohteessa yhtenäisiltä.

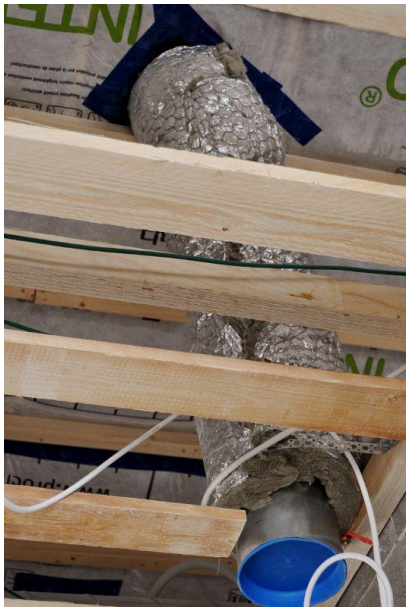
Alapohjien eristeasennuksessa ei myöskään huomattu ongelmia. Alapohjaeristeet ladottiin paikalleen raottomasti ja saumat limittäen, eivätkä levyt liikkuneet tai rikkoontuneet lattialämmityspotkistojen asennuksen tai betoniraudoituksen aikana. Alapohjien putkiläpiviennit oli myös huomioitu eristeasennuksessa, eikä niiden ympärillä ollut turhaa eristämätöntä tilaa (kuva 14).



KUVA 14. Putkiläpivientejä maanvastaisessa alapohjassa

Rakennusvaipan lämmöneristysten lisäksi kohteissa tarkasteltiin ilmastointikanavien ja -putkistojen eristystöiden onnistumista. Vaikutti, että talotekniikan eristykset tehtiin pääsääntöisesti ohjeiden mukaisesti ja riittävää huolellisuutta noudattaen. Tarkkailujaksolla ei myöskään löydetty kanavistoja, jotka olisi jätetty eristämättä tai eristetty väärällä materiaalilla. Joitakin puutteita työmaiden kondenssieristyksissä kuitenkin havaittiin alumiinipintaista mineraalivillaeristettä käytettäessä. Kuvassa 15 on tyypillinen esimerkki alumiinipintaisen kondens-

sieristeen epätiiviyistä asennuksesta. Tällainen eriste on haastava asentaa työmaalla yhtenäiseksi, joten suositeltavampaa olisi käyttää helpommin asennettavia umpisolueristeitä. Epätasainen asennus on parempi kuin täysin eristämätön kylmä kanava, mutta vesihöyryn tiivistyminen putken pintaan estetään varmin huolellisella eristystyöllä.



KUVA 15. Epätasaisuuksia ilmanvaihtokanavan alumiinipintaaisessa eristeessä

Muutamista kehitysehdotuksista huolimatta voidaan sanoa, että lämmöneristeiden ja putkieristeiden asennustyö oli Energiategohokkuuskorttelin tarkkailukohteissa toteutettu erittäin hyvin. Koko 9 kuukauden tarkkailujakson aikana havaittiin vain muutamia puutteita, mutta silloinkaan ei kyse ollut vakavista virheistä. Tarkkailukohteista saatujen havaintojen perusteella eristystöiden toteutus täyttää energiatehokkaan rakennuksen eristystyölle asetetut vaatimukset, eikä työmaalla tarvita merkittäviä muutoksia lämmöneristysten laadukkaan toteutuksen varmistamiseksi. Ilmanvaihtokanavien eristystöiden osalta tasoa voidaan hieman parantaa, lähinnä huolellisen toteutuksen osalta. Ilmanvaihtokanavien eristystöiden laadunvalvontaan on siis tarkkailukohteista saatujen havaintojen perusteella syytä kiinnittää enemmän huomiota ja tähdentää kanavistoeristysten tärkeyttä toteuttajille.

5.2.2 Kylmäsillat ja suunnitelmien mukainen työmaatoteutus

Työmaiden kylmäsiltahavainnointi toteutettiin tarkkailemalla suunnitelmien mukaisen toteutuksen onnistumista, sillä oletusarvoisesti tarkasti toteutussuunnitelmia seuraamalla vältetään ylimääraisten kylmäsiltojen muodostaminen rakennukseen. Havaintojen perusteella suunnitelmien ja toteutuksen yhteneväisyys oli kaikissa kohteissa todella hyvä. Tarkkailujakson aikana ei huomattu yhtäkään tapausta, jossa suunnitelmissa mainittuja rakennusmateriaaleja olisi vaihdettu rakennustyön aikana toisiin tai että rakenneratkaisuja olisi toteutettu suunnitelmien vastaisilla menetelmillä. Havaintojen perusteella ei yhdessäkään kohteessa siis työmaatoteutuksen virheillä tai huolimattomuudella aiheutettu ylimääraisiä kylmäsiltoja rakenteisiin.

Jokaisella työmaalla oli käytössään koko rakentamisen ajan paperiset rakennus- ja rakennekuvat. Toteutuskuvat olivat koko ajan saatavilla ja niitä vaikutettiin seurattavan huolellisesti. Suunnitelmien määrä ja laatu vaihtelivat kuitenkin kohteiden välillä paljon, aina kahdesta kansiolisesta yhteen paperipinoon saakka. Erityisesti detaljien kohdalla vaihtelua esiintyi huomattavasti. On kuitenkin huomattava, että tarkkailtavat kohteet ovat rakenteiltaan erilaisia, eivätkä kaikki rakenneratkaisut vaadi yhtä paljon detajisuunnittelua.

Korttelivierailuilla tiedusteltiin myös työntekijöiden mielipiteitä rakenne- ja rakennuspiirustuksista, niiden laajuudesta sekä saatavuudesta. Kaikkien kohteiden työntekijät vaikuttivat olevan yhtä mieltä siitä, että heillä oli jokaisessa työvaiheessa käytettävissään riittävä määrä rakenne- ja detajikuvia, eivätkä he olleet toteutusaikana huomanneet tarvetta lisäsuunnitelmille tai ristiriitaisuuksia suunnitelmien välillä.

Työnaikaisia suunnitelmamuutoksia tai suunnitelmaristiriitaisuuksia havaittiinkin kokonaisuudessaan Energiatehokkuuskorttelissa hyvin vähän. Eräällä työmaalla oli käytössä yhtä aikaa sekä vanhat että päivitettyt suunnitelmat, mikä voi vaikeuttaa etenkin ulkopuolisten aliurakoitsijoiden työtä. Rakennusurakoitsijan työntekijät tiesivät, mitkä kuvat olivat ajantasaiset, mutta aliurakoitsija ei välttämättä huomaa tarkastaa suunnitelmien päivityksiä, mikä voi aiheuttaa virheitä toteutuksessa. Suunnitelmien päivityksen yhteydessä tulisi korvata suunni-

telmat poistaa työmaalta erehdyksen välttämiseksi. Tarkkailun aikana ei kuitenkaan tullut esille tilanteita, joissa väärät tai muuttuneet suunnitelma-asiakirjat olisivat aiheuttaneet ongelmia.

Vaikka suunnitelmat koettiinkin työmailla toimiviksi, työmaavierailuilla huomattiin kuitenkin pari vaikeaa toteutusratkaisua, joiden ongelmat olisi voitu ehkä välttää toimivammalla suunnittelijoiden yhteistyöllä, paremmalla detaljisuunnittelulla tai työmaan yhteistoimintaa ja tiedonkulkua tehostamalla. Esimerkiksi eräässä kohteessa oli ilmanvaihtokanavan läpivienti asennettu niin lähelle yläpohjarakennetta, että yläpohjan ilmansulun tiivistäminen ulkoseinään oli hyvin vaikeaa (kuva 16). Kyseinen tilanne on voinut aiheutua eri ammattiryhmien yhteistyön ja työvaiheiden yhteensovittamisen ongelmista tai yksinkertaisesti siitä, ettei rakennus- ja LVI-piirustuksia ole vertailtu keskenään. Toteuttajat olisivat myös voineet pyytää suunnittelijalta yksityiskohtaisempaa toteutussuunnitelmaa vaikeasta tiivistyskohdasta.



KUVA 16. Ilmanvaihtokanavan läpivienti vaikeuttaa yläpohjan ja ulkoseinän höyrynsulun yhdistämistä

Kokonaisuutena suunnitelmien noudattaminen ja ylimääräisten kylmäsiltojen välttäminen onnistui kaikissa kohteissa kiitettävästi. Havaintojakson perusteella työntekijät osaavat toteuttaa rakenteet ja rakennekuviin piirretyt detaljit suunnitelmien mukaisesti, eikä uusienkaan rakenteiden tulkinnassa ole ongelmia. Myöskään työmaan suunnitelma-asiakirjojen laadussa tai kattavuudessa ei

huomattu suuria puutteita, jotka olisivat esteenä energiatehokkaan rakentamisen onnistuneelle toteutukselle. Detaljitasoisten suunnitelmien määrää voisi kuitenkin tarkkailun perusteella ainakin joissakin kohteissa lisätä. Riittävä määrä detaljitasoisia suunnitelmia takaa usein parhaan lopputuloksen, varsinkin kun työmaahenkilöstön ammattitaito on riittävällä tasolla suunnitelmien virheettömyyden toteutukseen.

5.2.3 Ilmatiiviyden toteutus

Rakenteiden ilmatiiviyden toteutus onnistui tarkkailukohteissa saatujen havaintojen perusteella erittäin hyvin. Lähtökohtaisesti ilmanpitävä kerros toteutettiin jokaisessa kohteessa oikeilla menetelmillä ja noudattaen erityistä huolellisuutta. Joitakin puutteitakin huomattiin, mutta havaitut virheet ovat kokonaisuuden kannalta hyvin pienessä roolissa. Kehityskohteet on kuitenkin syytä huomioida, sillä ilmatiiviyys on energiatehokkaiden rakennusten yksi tärkeimmistä laatutekijöistä ja samalla ehkä suurin yksittäinen energiatehokkuuden mittari, jonka onnistumiseen tai epäonnistumiseen voidaan työmaatoteutuksella vaikuttaa.

Jokaisessa Energiatehokkuuskorttelin kohteessa suoritettiin ilmanpitävyysmittaukset sekä työn aikana että työn jälkeen. Ilmatiiviyden toteutuminen oli kohteissa erinomainen ja lähes kaikki talot saavuttivatkin tämänhetkisten tietojen mukaan Energiatehokkuuskorttelille asetetun ilmanvuotoluvun tavoitearvon 0,6 1/h. Pientaloista mitatut ilmanvuotoluvut ovat seuraavat:

- kohde A: 1,0 1/h (mittaus valmiista rakennuksesta, mutta ennen ulkorappauksen tekemistä)
- kohde B: 0,6 1/h (mittaus valmiista rakennuksesta)
- kohde C: 0,4 1/h (työnaikainen mittaus)
- kohde D: 0,6 1/h (työnaikainen mittaus). (19.)

Kaikkien kohteiden nykyiset ilmatiiviydsluvut eivät siis ole lopullisia ja esimerkiksi harkkorakenteisen talon tiiviyteen vaikuttava ulkorappaus tehdään vasta yhden lämmityskauden jälkeen, eikä sitä ollut mittausten aikaan vielä toteutettu. Myös hirsirakenteinen talo tiivistyy painumisen yhteydessä ja ilmanvuotoluku voi pienentyä entisestään. Tällä hetkellä Energiatehokkuuskorttelin ilmanvuotoluvun

tavoitearvon 0,6 l/h saavuttaa kolme pientaloa, puurankarakenteiset kohteet B ja C sekä hirsirakenteinen kohde D.

Haastattelujen perusteella Energiatehokkuuskorttelin kohteiden tiiviys on toteutettu kolmessa kohteessa rakennusyritysten tavanomaisilla tiivistystavoilla, mutta toteutuksen huolellisuuteen on kiinnitetty tavanomaistakin enemmän huomiota. Yhdessä talossa käytettiin tiiviyn toteuttamiseen osittain uudenlaisia tiivistustuotteita, joita työntekijät eivät olleet aikaisemmin käyttäneet. Tämä ei kuitenkaan havaintojen perusteella vaikuttanut lopputulokseen negatiivisesti, sillä asennustyöryhmä tutustui asennusohjeisiin etukäteen ja käytti ohjeita apunaan koko tiivistysvaiheen ajan. Uusiin tuotteisiin annettiin lisäksi lyhyt perehdytys.

Puurankarakenteisissa ulkoseinissä käytettiin ilmatiiviyn toteuttamiseen jokaisessa kohteessa tavanomaista höyrynsulkumuovia. Ilmansulkukerroksen yhtenäisyydestä ja jatkuvuudesta ei löytynyt huomautettavaa ja muovin asennustyö tehtiin jokaisessa pientalossa erittäin huolellisesti ja välttämällä turhia saumakohtia. Muovissa ei nähty juurikaan asennuksen aikana syntyneistä rei'istä johtuvia paikkauksia, mikä omalta osaltaan viestii hyvin ammattimaisesta toteutuksesta. Jos paikkauksia ei voitu tehdä välittömästi, reikien paikat merkittiin muovikalvoon esimerkiksi tussilla. Tapa viestii työntekijöiden motivaatiosta ja riittävän vakavasta suhtautumisesta ilmanpitävyyden toteuttamiseen. (Kuva 17.)



KUVA 17. Huolellista työtä ilmansulkukalvon asennuksen yhteydessä

Ulkoseinien ilmansulkumuovin jatkoskohdat vaikuttivat olevan poikkeuksetta toteutettu vähintäänkin ohjeiden mukaisilla limityksillä sekä lähes aina oikeaoppisesti puristusliitoksia ja teippauksia käyttäen. Muutamia lyhyempiä jatkoskohtia ilman puristusliitosta havaittiin, mutta nämä paikat oli teipattu huolellisesti. Puristusliitokset olisivat kuitenkin olleet toteutettavissa tarkemmalla työvaihesuunnittelulla. Teippauksiin käytettiin kaikissa kohteissa tarkoitukseen valmistettuja tiivistysteippejä. Eräässä kohteessa tosin käytettiin kahden eri valmistajan tiivistystuotteita, mikä ei ole suositeltavin vaihtoehto, mutta luultavasti ei lopputuloksen kannalta kovinkaan merkittävä.

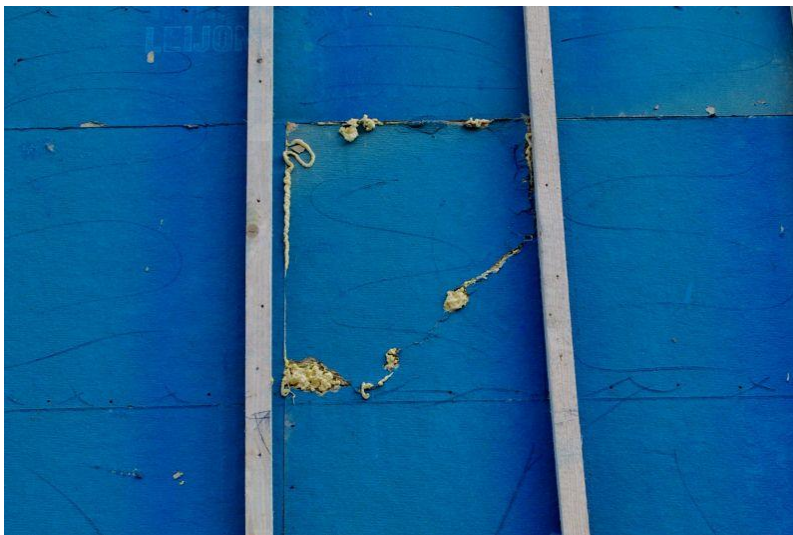
Tarkkailujaksolla ei havaittu yhtäkään tilannetta, jossa ilmansulkukerroksen jatkuvuutta ei asennuksen aikana olisi huomioitu tai liitoskohtaa ei olisi teipattu. Myös ylä-, ala- ja välipohjien liitokset toteutettiin kohteissa ilmansulkukerroksen jatkuvuuden periaatteita noudattaen ja puristusliitoksia käyttäen (kuva 18). Suositelluista käytännöistä poiketen puristusliitoksia ei kuitenkaan toteutettu tiheästi ruuvaamalla, vaan havaintojen mukaan kaikkien kohteiden puristusrimat naulattiin kiinni samalla tavoin kuin muutkin puuliitokset. Ruuvikiinnityksen avulla liitoksien pitävyyttä voitaisiin parantaa. Ruuvausvaatimusta ei kuitenkaan ollut merkitty suunnitelmiin, joten työmaalla liitokset toteutettiin periaatteessa virheettömästi, suunnitelmia noudattaen.



KUVA 18. Eräitä hyviä tapoja varmistaa ilmansulkukerroksen jatkuvuus

Molemmissa rankarakenteisissa pientaloissa käytettiin sisäpuolista asennustilaa sähkörasioiden ja -putkien asennuksia varten. Tarkkailujaksolla ei huomattu yhtäkään rasia-asennusta, joka olisi rikkonut ilmansulkukalvon. Niissä kohteissa, joissa käytettiin ilmansulkukalvon sisäpuolista lämmöneristettä, asennettiin eriste asianmukaisesti vasta sisäpuolisten betonivalujen jälkeen.

Puurankarakenteisten kohteiden tuulensuoja on olennainen osa rakennuksen tiiveyttä. Kaikissa rankarakenteisissa tarkkailukohteissa tuulensuojaksi asennettiin joko kipsilevy- tai kuitulevyrakenteinen tuulensuojakerros. Tuulensuojakerroksen asennuksessa ei pääsääntöisesti havaittu virheitä ja levykerros oli yhtenäinen jokaisessa puurakenteisessa tarkkailukohteessa. Ainoa ratkaisu, joka olisi voitu toteuttaa toisella tavalla, tuli esille kohteessa, jossa tuulensuojalevy oli rikkoontunut työn aikana. Levy oli paikattu polyuretaanivaahdolla, mutta paras vaihtoehto olisi kuitenkin ollut vaihtaa levy kokonaan uuteen, sillä nyt rakenne on heikompi ja vaahto aiheuttaa levyyn paikallisen vesihöyryä läpäisemättömän alueen (kuva 19). Ongelma ei ole suuri, mutta hyvä esimerkki siitä, ettei työmaalla ole ehkä huomattu tai osattu ajatella tuulensuojan rakennusfysikaalista toimivuutta ja sen ominaisuuksia.



KUVA 19. Polyuretaanivaahdolla paikattu tuulensuojalevy

Hirsirakenteisiin ulkoseiniin ei asennettu Energiatehokkuuskorttelin tarkkailukohteessa erillistä ilmanpitävää kerrosta. Hirsien väliset raot ja nurkkasalvokset tiivistettiin kuitenkin huolellisesti kumi- ja solumuovitiivisteiden sekä mineraalivil-

lakaistaleiden avulla (kuva 20). Tarkkailussa käytettiin apuna yrityksen omia tiivistysohjeita, eikä huomattu eroavaisuuksia ohjeiden ja toteutuksen välillä. Tiivistäminen tehtiin paikka paikoin jopa paremmin kuin valmistajan ohjeet olisivat edellyttäneet.



KUVA 20. Hirsirakenteen tiivistystä

Kivirakenteisen pientalon ulkoseinien ilmanpitävänä kerroksena toimii tarkkailukohteessa valettu harkko. Lisäksi seinät rapataan ulkopuolelta yhden lämmityskauden jälkeen. Huomiota kiinnitettiin seurannan yhteydessä eniten harkkojen halkeiluun, reikiin ja liitoskohtiin, sillä betonivalun yhteneväisyyttä ei valmiista rakenteesta voi enää paikantaa. Yläpohjan ilmansulku tiivistettiin ulkoseiniin tarkoitukseen valmistetun liitoskankaan avulla valmistajan ohjeiden mukaisesti, eikä toteutuksessa havaittu puutteita tai poikkeavuuksia, joiden vuoksi olisi syytä epäillä liitoksen ilmanpitävyyttä. Joitakin ulkoseinien putkiläpivientejä oli kuitenkin tehty ennen yläpohjan ja ulkoseinän liitoksen viimeistelyä, mikä vaikeutti ilmanpitävyyden toteuttamista. Liitoskohdat olisi ollut syytä tehdä ennen läpivientien asentamista.

Valetussa harkossa betonikerros on itsessään ilmanpitävä, joten sisäpuolisen tasoituksen yhtenäisyydellä ei ole niin suurta merkitystä rakenteen ilmanpitävyydelle, kuin muurattuja harkkoja käytettäessä. Tasoituskerros toimii kuitenkin lisävarmistuksena ilmatiiviydelle, joten se kannattaisi valuharkkojenkin kohdalla toteuttaa huolellisesti. Tasoituskerroksen yhtenäisyydessä havaittiin tarkkailu-

kohteessa jonkin verran tehostamismahdollisuuksia, erityisesti alaslaskettujen kattojen sekä reikien paikkaamisen osalla (kuva 21). Kyseessä ei siis varsinaisesti ole toteutusvirhe, sillä ulkoseinien valuharkkorakenteen vuoksi tasoituskerroksen merkitystä ei ole luultavasti erityisemmin korostettu tai vaadittu työmaalla. Asia on kuitenkin hyvä tiedostaa.



KUVA 21. Katon alaslaskujen ja asennettujen kanavien takana on tasoituskerros vaikeaa saada enää yhtenäiseksi

Yläpohjan ilmanpitävän kerroksen toteuttamiseen käytettiin jokaisessa kohteessa kalvomaista ilmansulkua. Asennus toteutettiin pientaloissa samanlaista huolellisuutta noudattaen kuin puurakenteisten ulkoseinienkin kohdalla, eikä puutteita ilmanpitävän kerroksen asennuksessa juurikaan löydetty. Ilmansulun jatkokset teipattiin huolellisesti ja sijoitettiin alaslaskurimojen kohdalle kaikissa kohteissa. Tarkkailujaksolla ei kuitenkaan huomattu, että ilmansulun jatkoskohdissa olisi ristikoiden väleihin asennettu vastakappalerimoja ilmanpitävien liitosten toteutusohjeiden mukaisesti. Yläpohjan ilmansulun jatkoskohdissa ei siis ole havaintojen perusteella varsinaisia puristusliitoksia. Alaslaskun taakse sijoitettu jatkos parantaa kyllä liitoksen pitkäaikaiskestävyyttä, mutta vastakappaleet olisivat silti olleet luotettavampi valinta, mikäli teipit jossain vaiheessa irtoavat. Yläpohjan ilmansulun liitoksissa ei myöskään havaittu käytettävän suositeltuja

ruuvikiinnityksiä, tosin niiden merkityskin olisi vastakappalerimojen puuttuessa ollut hyvin pieni.

Yhdessä pientalossa puhallusvillan asennuksen yhteydessä jouduttiin rei'ittämään ilmansulkukangas jokaisen kattoristikon kohdalta, jotta eriste saatiin katotokannakkeiden väliin tasaisesti. Kuvasta 22 nähdään, kuinka reiät on paikattu asianmukaisesti umpeen, mutta vaara ilmanvuotokohdista on luonnollisesti sitä suurempi, mitä enemmän paikattavia reikiä on. Lisäksi yläpohjan eristekerroksen paino kuormittaa teippiliitoksia, mikä voi vaikuttaa niiden pitkäaikaiskestävyyteen. Teippipaikkaukset eivät myöskään ole puristettuja liitoksia. Yläpohjan tiivistys olisi ehkä ollut parempi ratkaista asentamalla toinen, kokonaan ehjä ilmansulkukaistale alaslaskurimojen väliin, jolloin ylimääräisiltä teippauksilta olisi säästyttävä. Huolimatonta työmaatoteutusta ei kuitenkaan ole syynä tilanteeseen, vaan parempi ratkaisu olisi kannattanut pohtia jo toteutuksen suunnitteluvaiheessa.



KUVA 22. Puhallusvillan asennuksessa rei'itetty ilmansulkukangas

Alapohjien tiiviys varmistettiin kaikissa korttelin kohteissa erinomaisesti, eikä puutteita toteutuksessa havaittu missään vaiheessa. Puurankarakenteisten pientalojen kohdalla ilmansulkukalvon yhtenäisyys varmistettiin jättämällä seinän ilmansulkukalvo alapohjan eristelevyjen väliin. Muissa kohteissa alapohjan tiiviyn varmistettiin oikeaoppisesti asennettu radonkaista ja alapohjalaatan ja ul-

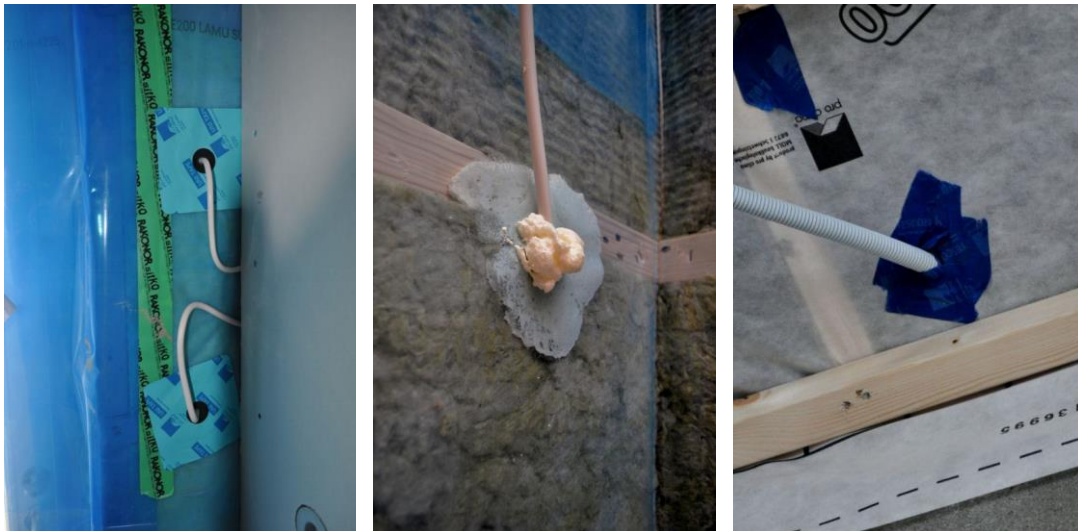
koseinien saumojen tiivistys tiivistysliimamassalla. Alapohjan läpiviennit tiivistettiin myös tiivistysohjeiden mukaisesti, eikä ongelmia havaittu.

Rakennusvaipan läpiviennit tehtiin saatujen havaintojen perusteella jokaisessa kohteessa hyvin, eikä tarkkailujaksolla tullut vastaan yhtäkään läpivienttiä, jota ei olisi tiivistetty ilmanpitävään kerrokseen. Kalvomaisten ilmansulkujen suurissa läpivienneissä kaikki yritykset käyttivät lähtökohtaisesti tehdasvalmisteisia läpivientikauluksia ja teippauksia (kuva 23). Kivitalon ulkoseinien läpivientien tiivistykseen käytettiin asiaankuuluvasti polyuretaanivaahdotusta. Läpivientien esimerkkiasennuksia ei havaittu kohteissa käytettävän.



KUVA 23. Esimerkillisesti toteutettu ilmanvaihtokanavan läpivienti yläpohjassa

Sähköläpivientien tiivistyksessä esiintyi jonkin verran enemmän vaihtelua kohteiden välillä: osa pientalorakentajista käytti myös sähköasennusten läpivientteihin valmiita kauluksia ja osa taas teippauksia. Yksi pientalotyömaa käytti kalvomaisten ilmansulun sähköläpivientien tiivistämiseen polyuretaanivaahdotusta, joka ei ole suositeltavin tiivistysratkaisu. Tiivistysteippi tai -kaulus voisi olla vaahdotusta varmempi vaihtoehto, sillä tiivistysteipit on suunniteltu erityisesti muovikalvojen tiivistykseen ja ne kestävät hyvin aikaa sekä veto- ja puristusrasituksia. Kohteen ilmatiiviysluku on kuitenkin mittausten perusteella hyvä, joten ainakin tällä hetkellä läpiviennit ovat luultavimmin tiiviitä. (Kuva 24.)



KUVA 24. Eri tavoin toteutettuja sähköläpivientejä kalvomaisessa ilmansulku-kerroksessa

Ikkunoiden ja ovien liittymissä ulkoseinään tai tiivistyksessä ilmansulkuun ei korttelivierailuilla havaittu tiivistysohjeista poikkeavia toteutustapoja. Ikkunat ja ovet tiivistettiin lähes jokaisessa kohteessa ulkoseiniin vaahdottamalla ja vaahdotukset tehtiin aina vähintään kahdessa kerroksessa tiivistyssuosituksen mukaisesti. Ilmansulkukalvo liitettiin ikkuna- ja oviaukkoihin tiivistysteippien tai liimamassojen avulla. Jonkin verran vaahdotuksia oli jouduttu asennuksen yhteydessä leikkaamaan, mutta kerroksittainen vaahdotus ja teippaukset vähentävät leikkaamisen vaikutusta tiiveyteen, eikä ole syytä uskoa leikkauksien heikentäneen rakenteen ilmanpitävyyttä. Eräässä kohteessa suurten ikkunoiden kiinnittämiseen ja tiivistämiseen käytettiin vaahdotuksen sijasta polymeeriliimaa, jonka avulla saatiin todennäköisesti toteutettua erittäin tiiviitä ja kestäviä liitoksia.

Läpivientien ja aukkokohtien ilmatiiviiden toteuttaminen oli yleisesti ottaen Energiategohokkuuskorttelissa lähes virheetöntä, mutta joitakin huolimattomasti tiivistettyjä läpivientejäkin tavattiin työmailta. Puutteet olivat hyvin pieniä, mutta energiatehokas rakentaminen edellyttää ilmatiiviin kerroksen virheetöntä toteutusta. Esimerkiksi yhdessä tarkkailukohteessa oli alaslaskuriman ja putkikanakkeen asennusta varten leikattu höyrynsulkumuoviin suuri viilto (kuva 25). Tässä tapauksessa kyseessä on välipohjarakenne, joten rakennuksen ilmanpitävyydelle ei aiheutettu vahinkoa, vaikkakin myös välipohjarakenteet kannattaisi toteuttaa ilmatiiviin rakentamisen periaatteita noudattaen. Kuva on kuitenkin

hyvä esimerkki siitä, kuinka suuria vaurioita ilmanpitävään kerrokseen voidaan aiheuttaa, jos joku työmaalla ei ole tietoinen rakennuksen ilmanpitävyyden merkityksestä. Työmaatarkkailun perusteella ei myöskään voida varmasti sanoa, onko tarkkailujaksolla havaitut muutamat tiiviyspuutteet korjattu juuri ennen pintarakenteiden asennusta.



KUVA 25. Alaslaskuriman asennuksen yhteydessä rikki leikattu välipohjan muovikalvo

Tarkkailujakson perusteella vaikutti siltä, että jokaisessa kohteessa suhtauduttiin positiivisella asenteella tiiviyn toteuttamiseen, eikä erittäin hyvän tiiviyn saavuttamista nähty ylivoimaisena asiana. Työntekijät olivat kaikissa kohteissa tietoisia tulevista tiiviysmittauksista ja useat kertoivat osallistuneensa mittauksiin aiemmillä kerroilla. Vaikutti, että mahdollisimman pienen ilmanvuotoluvun saavuttaminen koettiin enemmänkin haasteena, joka motivoi hyvään lopputulokseen. Kokonaisuudessaan jäi mielikuva, että ilmatiiviys koettiin tärkeäksi, eikä tarkkailujaksolla tullut kertaakaan esille työntekijöiden negatiivisia tai vähätteleviä kommentteja rakennuksen ilmatiiviyn merkityksestä.

Kokonaisuutena ilmatiiveyden toteuttaminen todettiin Energiatehokkuuskorttelissa erittäin onnistuneeksi, vaikka vähän kehitettävääkin vielä on yksityiskohtien hiomisessa. Työntekijöillä on kuitenkin riittävä ammattitaito ja ymmärrys ilmatiiviyn oikeaoppiseen toteuttamiseen. Myös asenteet ilmatiiviyn merkitystä kohtaan ovat kunnossa. Havaitut tiiviyspuutteet olivat pieniä, mutta niiden

syntymiseen johtavat syyt tulisi saada poistettua toteutusvaiheesta. Tarkkailujaksolla tuli myös selkeästi esille, kuinka paljon tiivistysteippien pitkäaikaiskestävyyteen luotetaan: puristusliitosten puuttuessa esimerkiksi kohteiden yläpohjissa ilmansulkukalvon jatkuvuus on pääasiassa tiivistysteippien varassa, eivätkä teippaukset välttämättä säily ilmanpitävinä rakennuksen koko käyttöajan.

5.2.4 Työmaan kosteudenhallinnan toteutuminen tarkkailukohteissa

Työmaan kosteudenhallinnassa havaittiin tarkkailukohteissa huomattavasti enemmän puutteita kuin itse rakenteiden toteutuksessa. Yhdeksän kuukauden tarkkailujakson aikana lähes jokaisella työmaalla tuli toistuvasti esiin tilanteita, joissa työmaan kosteudenhallintaa olisi ollut syytä parantaa vastaamaan paremmin vallitsevia olosuhteita. Suurimman osan ajasta työmaiden suojaukset olivat kyllä kunnossa ja erinomaisiakin esimerkkejä nähtiin, mutta tilanteen tulisi olla samanlainen koko toteutusvaiheen ajan (kuva 26).



KUVA 26. Erään kohteen hyvin toteutettu materiaalisuojaus

Yhdelläkään työmaalla olosuhdehallinta ei kuitenkaan ollut niin heikkoa, että olisi syytä epäillä huonon kosteudenhallinnan aiheuttaneen vaurioita pientalojen rakenteisiin. Tulee kuitenkin muistaa, että tarkkailukohteiden rakenteet eivät vastaa paksuudeltaan tulevaisuuden erittäin energiatehokkaita rakenteita, joiden kuivanapysymisvaatimukset ovat nykyistäkin tiukemmat.

Kaikilla Energiatehokkuuskortteliin rakentavilla yrityksillä on saatujen tietojen mukaan olemassa viralliset kosteudenhallintasuunnitelmat, mutta erillisiä, kohdekohtaisia kosteudenhallintasuunnitelmia ei ole korttelin kohteisiin tehty. Kosteudenhallintasuunnitelman noudattaminen ja siellä mainittujen suojaustoimenpiteiden toteuttaminen ei tullut tarkkailujakson aikana esille, vaan suojaustoimenpiteet vaikuttivat perustuvan työntekijöiden tottumuksiin ja aiemmin hyväksi havaittuihin käytäntöihin. Suojaustoimien dokumentointia tai kirjaamista ei havaittu työmaavierailuilla käytettävän kuin yhdessä kohteessa. Tätä kohdetta lukuun ottamatta Energiatehokkuuskorttelin rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan ei myöskään ollut käytetty tavanomaisesta tuotannosta poikkeavia kosteudenhallintatapoja tai -suunnitelmia, vaan kohteiden suojaus- ja kuivatustoimet toteutettiin totutuilla menetelmillä.

Rakennusmateriaalien suojaus ja varastointi toteutettiin suurimman osan ajasta moitteettomasti, mutta toisaalta rakennusmateriaalien suojauksessa havaittiin myös suurimmat kosteudenhallinnan puutteet. Jokaisessa kohteessa materiaaleja säilytettiin pääasiassa ulkona, eikä työmailla ollut käytössään erillisiä työmaakontteja rakennusmateriaalien varastointia varten, mikä onkin pientalotyömailla tavanomaista. Jokaisen pientalon yhteyteen rakennettiin päärakennuksen yhteydessä myös erillinen autokatos tai varasto, mutta katoksia käytettiin materiaalisuojauksiin melko vähän. Tämä voi johtua siitä, että ennen katoksien valmistumista suurin osa rakennusmateriaaleista oli jo toimitettu ja varastoitu toisaalle työmaalla.

Materiaalisuojauksiin käytettiin pääasiassa suojapeitteitä, muovikalvoja ja puutavaran mukana tulleita suojamuoveja. Lähtökohtaisesti kaikki kosteusherkät rakennusmateriaalit oli aina pyritty suojaamaan säältä ja tarkkailujaksolla tulikin esille vain hyvin harvoja tilanteita, joissa rakennusmateriaalit olisi jätetty kokonaan suojaamatta työpäivän päätteeksi. Suojauksien toteuttaminen todettiin kuitenkin usein hieman vajavaiseksi; suojapeitteitä ei ollut kiinnitetty riittävän tiukasti ja tuuli oli päässyt irrottamaan osan peitteistä, ilma ei päässyt kiertämään peitteen alla, kunnolliset aluspuut puuttuivat tai suojaukseen käytettävä peite ei ollut vedenkestävä. Osa peitteistä oli myös aseteltu niin, että suuria vesimääriä pääsi lammikoitumaan peitteiden päälle. (Kuva 27.)



KUVA 27. Huolimattomasti toteutettuja puutavarasuojauksia

Pressujen huolimattomasta kiinnityksestä johtuen oli tuuli usein päässyt irrotta-
maan suojapeitettä, jolloin alla oleva suojaamaton puutavara tai muu materiaali
saattoi kastua sateessa pahastikin. Joissakin puissa havaittiin selkeitä kosteu-
desta johtuvia värimuutoksia (kuva 28). Kostuneita puutavaroita ei kuitenkaan
havaittu käytettävän kuin rungon ulkopuolisissa rakenteissa, mutta mikrobikas-
vuston ilmaantuminen on merkki suojaustoimien kehittämistarpeesta.



KUVA 28. Liiallisen kosteuden aiheuttamia vaurioita puutavarassa

Pakkausmuovien suojaavaan vaikutukseen luotettiin joissakin tapauksissa liiallisesti ja työmailta löydettiin esimerkiksi mineraalivillapakkauksia, joiden sisään oli päässyt vettä. Kastuneita eristeitä ei välttämättä käytetty enää työmaalla, mutta pilalle menneet materiaalit aiheuttavat aina ylimääräisiä kustannuksia. Materiaalien välivarastoinnissa on myös kehitettävää, esimerkiksi eräässä kohteessa kipsilevynippuja säilytettiin ulkona pitkiäkin aikoja. Levyt oli suojattu asianmukaisesti, mutta sateisilla säillä pitkään ulkona olevien sisäverhouskipsilevyjen paperipinta voi kärsiä jo pelkästään pitkäaikaisesta korkeasta ilman suhteellisesta kosteudesta.

Keskeneräisten rakenteiden suojaus oli selvästi materiaalisuojausta tehokkaampaa, eivätkä avonaiset rakennusrungot päässeet kastumaan haitallisesti yhdessäkään pientalokohteessa. Kolmessa kohteessa neljästä vesikatto rakennettiin valmiiksi maassa ja nostettiin kokonaisena paikalleen, jolloin rakennusrunko saatiin saman tien sääsuojaan. Suuret aukkokohtat oli myös korttelissa peitetty asianmukaisesti, eikä havainnointijaksolla tavattu tilannetta, että vettä tai lunta olisi päässyt satamaan rakennuksen sisäpuolelle (kuva 29). Pellitykset, vesikatteet, julkisivuverhoilut ja muut julkisivun liitoskohdat vaikuttivat myös olevan asianmukaisesti asennettuja jokaisessa korttelin kohteessa.



KUVA 29. Tehokkaasti suojattu rakennusrunko

Rakenteiden suojauksessa varsinaisia puutteita havaittiin ainoastaan ikkuna-aukkojen suojauksissa ennen vesipeltien asennusta. Kahdessa kohteessa ikkunat olivat osin pitkäänkin ilman vesipeltejä, eikä ulkopuolista ikkunapenkkiä ollut suojattu millään tavalla. Erityisesti ulkopuolista lisäeristettä käytettäessä sadevettä voi imeytyä suojaamattoman ikkunan kautta rakenteeseen huomattaviakin määriä. Ikkunapenkkien väliaikaiseen suojaukseen käy hyvin esimerkiksi pala höyrynsulkumuovia tai laudankappale.

Ainoastaan yhdessä tarkkailukohteessa ei koko rakennusaikana huomattu suojauspuutteita rakennusmateriaalien tai rakennusrungon suojauksen suhteen. Tähänkään kohteeseen ei ollut laadittu kirjallista kohdekohtaista kosteudenhallintasuunnitelmaa, mutta yleissuunnitelmaan oli perehdytty ja tiedustelun perusteella selvisi, että työmaan kosteudenhallinta oli otettu osaksi suunnittelua jo varhaisessa vaiheessa. Suunnitteluvaiheessa oli pohdittu ratkaisuja, jolla rakenteiden ja rakennusmateriaalien kosteusrasitusta voidaan työmaavaiheessa pienentää. Työntekijät olivat tietoisia näistä toimenpiteistä ja kosteudenhallinnan toteutumista valvottiin päivittäin sekä dokumentoitiin säännöllisesti esimerkiksi valokuvien avulla.

Rakennusaikainen kuivatus vaikutti olevan kunnossa jokaisessa kohteessa, eikä tarkkailussa tullut esille riittämättömästä kuivumisesta johtuvia viivästyksiä aikatauluihin. Muutamia havaintoja huonosti vettä läpäisevien rakennustarvikkeiden varastoinnista kuivuvaa maanvastaista betonilaattaa vasten havaittiin, mutta tilanteet vaikuttivat olevan väliaikaisia. Kaikissa kohteissa oli havaintojen mukaan käytössä tarpeeksi rakennusaikaisia lämmittimiä ja/tai ilma kuivaimia ja niitä käytettiin työmaalla oikeaoppisesti ja riittävästi.

Vierailujen perusteella lähes kaikilla työmailla oli sisätiloissa käytössään jatkuva lämpötilan- ja kosteudentarkkailu, joka aloitettiin heti kun rakennukseen oli saatu lämmitys kytkettyä päälle. Tarkkailuun käytettiin esimerkiksi yksinkertaista mittaria, joka toimii tässä tarkoituksessa erinomaisesti (kuva 30). Yhdessäkään pientalossa ei havaittu rakennusaikana erityisen kosteaa ja huonosti vaihtuvaa sisäilmaa. Riittävästä ilmanvaihtuvuudesta huolehdittiinkin erittäin hyvin. Yhdellä työmaalla oli käytössään pieni alipainetuuletin, joka toimi eräänlaisena väliaikaisena ilmanvaihtokoneena koko rakennusajan.



KUVA 30. Lämpötila- ja ilmankosteusmittari työmaalla

Huolimatta siitä, että työnaikaisessa kosteudenhallinnassa havaittiin tarkkailujaksolla parannettavaa, oli Energiatehokkuuskorttelin olosuhdehallinnan taso kuitenkin kokonaisuudessaan keskimääräistä rakennustyömaata parempaa. Energiatehokkaan rakentamisen teknisten laatutavoitteiden toteutumiseksi tulisi rakennuksen ja rakennusmateriaalien suojaustoimia kuitenkin vielä tehostaa ja yhdenmukaistaa. Tarkkailukohteissa tuli selkeästi ilmi, kuinka vaihtelevia suojuskäytännöt ovat samallakin työmaalla päivästä riippuen.

Kosteudenhallinta oli tarkkailtavista toteutustekijöistä ainoa, jossa havaittiin selkeitä kehitystarpeita energiatehokkaalta rakentamiselta vaaditun laatutason saavuttamiseksi. Tarkkailujakson perusteella suurimmat kehitystarpeet kohdistuvat lähinnä materiaalisuojaukseen. Materiaalisuojauksenkin osalta pääpiirteet ovat kunnossa, mutta parannettavaa on vielä suojausten viimeistelyssä ja kosteudenhallinnan merkityksen sisäistämisessä. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että työmaan kosteudenhallinta saadaan helposti optimoitua energiatehokkaalle tasolle pienillä asennemuutoksilla, vaivannäöllä sekä laadunvalvonnan tehostamisella. Hyvänä esimerkkinä yksi tarkkailukohteista osoitti, että onnistunut kosteudenhallinta ei vaadi suuria resursseja, vaan pienellä panostuksella ja laatuajattelulla varmistetaan rakennusrungon ja materiaalien kuivana pysyminen koko rakennusvaiheen ajan.

5.2.5 Laadunvalvonta ja laadunvarmistustoimet tarkkailukohteissa

Työmaan valvonnan laatua ei tarkkailujaksolla päästy toimivasti havainnoimaan, sillä työmaavierailut eivät kertaakaan ajoittuneet niin, että vastaava työnjohtaja tai muu laadunvalvoja olisi ollut paikalla samaan aikaan. Laadunvalvonnan voidaan kuitenkin olettaa olleen riittävää, sillä kohteissa ei havaittu suunnitelma-poikkeavuuksia tai suuria virheitä.

Vaikka havainnointijaksolla ei vastaavia työnjohtajia työmailla tavattukaan, saatujen tietojen mukaan työnjohtajat vierailivat jokaisella työmaalla, osassa kohteista useammin ja toisissa harvemmin. Kaikissa kohteissa rakennustyöntekijät ja aliurakoitsijat saivat kuitenkin työskennellä melko itsenäisesti. Muutamassa kohteessa tuli esille, että Energiatehokkuuskorttelin työmaalle oli tarkoituksella valittu erittäin kokenut asennustyöryhmä, mikä on luonnollisesti hyvä asia, kun toteutetaan uudenlaisia ja erikoisempia rakenneratkaisuja. Vierailuilla havaittiin myös tilanteita, joissa aliurakoitsijat työskentelivät työmaalla yksin, ilman että kohteen pääurakoitsijan henkilökuntaa olisi ollut paikalla. Tällaisissa tilanteissa on aina vaara siitä, että työmaatoteutuksessa tapahtuu virheitä, jotka jäävät huomaamatta.

Havaintojen ja saatujen tietojen perusteella pientalojen suunnittelijat eivät tehneet kohteissa erillisiä työmaavierailuja. Joissakin kohteissa kuitenkin vastaava työnjohtaja toimi samalla myös pientalon rakennesuunnittelijana ja yhdessä kohteista kohteen rakennesuunnittelija työskenteli itse työmaalla. Itse suunnitelmien kattavuutta ja laatua käsiteltiin jo aikaisemmin kylmäsiltojen yhteydessä, luvussa 5.2.2.

Työntekijöiden toteuttamaa, dokumentoitua laadunvalvontaa ei myöskään havaittu kohteissa käytettävän, vaikkakin laaduntarkkailu varmasti on automaattisesti osa työsuoritusta. Erikseen suunniteltu laaduntarkkailu on kuitenkin aina tehokkaampaa, sillä silloin laadunvalvontatoimintaa toteutetaan varmimmin. Energiatehokkuuskorttelin työmaavierailuilla ei kuitenkaan nähty tai kuultu käytettävän erillisiä tarkastuslistoja tai laadunvalvontatoimenpiteitä, joilla työntekijöiden itsenäistä, oman työnsä laadunvalvontaa olisi seurattu.

Jokaisessa pientalossa suoritettiin havaintojen perusteella työmaan laadunvarmistustoimenpiteinä ainakin ilmatiiviysmittaukset, lämpökamerakuvaukset sekä pinnoitettavuusmittaukset. Laadunvarmistustoimenpiteisiin oli varattu aikaa myös aikatauluihin, mikä onkin IEEB-hankkeeseen kuulumisen myötä itsestään selvää. Laadunvarmistustoimenpiteisiin liittyen ei tarkkailujaksolla havaittu mitään tavallisuudesta poikkeavaa. Ilmanpitävyysmittaukset ja lämpökamerakuvaukset suoritettiin kohteissa Oulun seudun ammattikorkeakoulun toimesta. Pinnoitettavuusmittaukset yritykset suorittivat omatoimisesti. Oli positiivista huomata, että ainakin yhdessä yrityksessä käytettiin aina kosteusmittauksiin samaa henkilöä ja samoja laitteita, jotta kaikkien toteutettujen kohteiden tulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään. Tällä tavalla myös mahdolliset ongelmat kuivumisen kanssa huomataan ja paikannetaan nopeasti, sillä epänormaalien tulosten kohdalla mittaja havaitsee eron heti.

Selkeitä tiedonkulun puutteesta johtuvia ongelmia ei tarkkailujaksolla havaittu. Jokaisen kohteen rakennustyöntekijät tiesivät, että kyseessä on erikoiskohde, jota seurataan tarkasti IEEB-hankkeen toimesta. Myös aliurakoitsijoista suurin osa vaikutti tietävän kohteiden erikoisvaatimuksista, mutta vastaan tuli myös tilanteita, joissa työmaalla yksin työskentelevä aliurakoitsija ei tiennyt mitään rakennuksen energiatehokkuusvaatimuksista. Havaintojen perusteella tästä ei aiheutunut työmaalla ongelmia tai virheitä, mutta riski laatupuutteisiin kasvaa aina tiedonkulun katkoksissa ja valvonnan puuttuessa, varsinkin, jos toteutetaan tavallisuudesta poikkeavia kohteita.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakentamisen huonosta laadusta on puhuttu jo vuosia, minkä vuoksi tutkimukseen ryhdyttäessä oli syytä uskoa, että usean tarkkailukohteen pitkällä havainnointijaksolla tavattaisiin jonkin verran puutteita rakentamisessa tai jopa selkeitä rakennusvirheitä. Tulokset olivat kuitenkin huomattavasti positiivisempia: tarkkailukohteista saatujen havaintojen perusteella vaikuttaa siltä, että pientalorakentamisen laatu on hyvällä tasolla. Rakennusvaipan toteutuksessa ei havaittu juuri ollenkaan poikkeamia energiatehokkaalta rakentamiselta edellytettävään laatutasoon nähden. Työmaahenkilöstön ammattitaito ja osaaminen vaikuttavat olevan nykyisellään riittävällä tasolla energiatehokkaiden vaipparakenteiden turvalliseen toteuttamiseen. Havainnointijaksolla tuli kuitenkin esille myös joitakin kehitystarpeita, joihin on syytä kiinnittää huomiota tulevaisuuden rakentamista ajatellen.

Parhaiten työmaatoteutuksessa onnistuttiin rakenteiden lämmöneristyksessä ja kylmäsiltojen välttämässä, sillä molemmat tekijät onnistuttiin toteuttamaan kaikissa kohteissa lähestulkoon virheettömästi. Suunnitelmien tulkinta ja käyttö oli ammattitaitoista, eikä työmailla havaittu tehtävän suunnitelmien vastaisia ratkaisuja. Näiden tekijöiden onnistumisen varmistamiseksi ei havaintojen perusteella vaadita merkittävää laadunvarmistuksen tehostamista tai työntekijöiden koulutusta energiatehokkaiden rakenteiden toteuttamiseksi.

Rakennuksen ilmanpitävän kerroksen asennus toteutettiin myös mallikkaasti. Vaikuttaa siltä, että rakennuksen ilmanpitävyyden merkitys energiatehokkaassa rakentamisessa on sisäistetty ja asentajat tietävät, kuinka nämä osa-alueet toteutetaan oikeaoppisesti. Yksittäisiä puutteita havainnoinnin aikana huomattiin, mutta virheet olivat kokonaisuuden kannalta hyvin pieniä, eikä ole syytä uskoa niiden aiheuttavan kosteus- tai lämpötekniisiä ongelmia pientalokohteiden rakenteisiin.

Ilmanpitävän kerroksen toteutuksen yhteydessä tuli varsinaisen työmaatoteutuksen ulkopuolelta esille muutamia suunnitteluteknisiä asioita, jotka voivat kaivata kehittämistä. Havaintojen mukaan ilmanpitävä kerros toteutettiin kaikissa

kohteissa suunnitelmien mukaisesti, mutta koska suunnitelmissa ei ollut vaadittu ruuvaamalla tehtäviä puristusliitoksia tai yläpohjan vastakappalerimoja, ei niitä työmaalla asennettu. Tarkkailujaksolla havaittiin myös ratkaisuja, joissa ilmanpitävyyden varmistamiseksi olisi voitu tarvita tarkempaa toteutussuunnitelmaa. Esimerkiksi pelkkien tiivistysteippien varassa oleva yläpohjan ilmansulku herättää kysymyksiä ratkaisun pitkäaikaiskestävyydestä.

Työmaan kosteudenhallinnassa esiintyi tarkkailujaksolla selkeitä puutteita energiatehokkaalta rakentamiselta vaadittuun laatutasoon verrattuna. Erityisesti rakennusmateriaalien suojaus osoittautui haastavaksi. Puutteista huolimatta oli kosteudenhallinnan taso tarkkailukohteissa kuitenkin suurimmalta osin tavanomaista työmaatasoa parempaa, mikä osoittaa, että suojaustoimet osataan halluttaessa tehdä oikein. Suojausten toteuttaminen kuitenkin vaihteli paljon samalakin työmaalla päivästä riippuen. Energiatehokkaassa rakentamisessa kosteudenhallinta on niin merkittävässä roolissa, ettei tällaista vaihtelua saisi työmailla esiintyä. Tarkkailujakson aikana tuli kuitenkin myös esille, että haluttaessa kuiva rakentaminen on pientalotyömaalla täysin mahdollista ilman erikoisjärjestelyjä tai suuria lisäinvestointeja.

Laadunvalvonnan ja laadunvarmistustoimenpiteiden osalta jäivät tarkkailun tulokset puutteellisiksi, sillä seurannan toteutustavan vuoksi ei näiden tekijöiden laatua voitu riittävällä varmuudella arvioida. Tarkkailujakson perusteella vaikuttaa kuitenkin siltä, että työntekijät työskentelevät pientalotyömailla hyvin itsenäisesti, eivätkä vastaavat työnjohtajat käy työmailla kovin usein. Suunnittelijakaan eivät työmailla havaintojen perusteella erikseen vierailleet. Havainto oli hieman yllättävä, sillä Energiatehokkuuskorttelin pientalokohteet ovat innovatiivisia ja poikkeavat ainakin osin tavanomaisesta tuotannosta jokaisessa yrityksessä.

Laadunvalvonnan kannalta myös aliurakoitsijoiden työskenteleminen itsekseen työmailla voi olla huono ratkaisu, sillä kuten aikaisemmin on tuotu esille, energiatehokkaiden rakenteiden vikasietoisuus on heikko ja pienetkin huolimattomuus- tai ajattelemattomuusvirheet voivat aiheuttaa ongelmia. Yksin työskentelevällä työntekijällä ei myöskään ole välttämättä mahdollisuutta kysyä ongelmia-

kohdista keneltäkään ja ratkaisut voidaan toteuttaa väärällä tavalla, ilman että kukaan tiedostaa asiaa.

Kehitysmahdollisuudet

Tarkkailukohteet toteutettiin pääosin erinomaisesti, mutta täysin virheetöntä ei toteutus kuitenkaan ollut. Ongelmakohdat ovat kuitenkin pieniä, mikä osoittaa, että peruseriaatteet ovat rakentamisessa kohdallaan.

Koulutusta ja erityisesti rakennusfysiikan tuntemusta tarvittaisiin tekijäportaassa enemmän, sillä on hyvin olennaista, että työntekijät tietävät oikeiden työtapojen ja -menetelmien perustellut syyt ja huonosta toteutuksesta mahdollisesti aiheutuvat ongelmat. Sen lisäksi, että tiedetään, miten jokin rakenne teknisesti toteutetaan, on tärkeää tietää, miksi se toteutetaan kyseisellä tavalla. Syvällisempi tietotaito auttaa työntekijöitä havaitsemaan ongelmakohdat ajoissa sekä soveltamaan osaamistaan tarvittaessa. Tietämys oman työn merkityksestä kokonaiskuvaan myös motivoi työhön ja parempiin työsuorituksiin. Ainakin energiatehokkaan rakentamisen alkuvaiheessa työmaan laadunvalvonnan ja koulutuksen lisäämistä on syytä pohtia erityisesti uusien rakenteiden kohdalla. Työntekijöiden kouluttamisella ja motivoinnilla on saatu hyviä tuloksia aikaan, sillä esimerkiksi vaipparakenteiden ilmanpitävyyden toteutus on tällä hetkellä aivan toisella tasolla kuin esimerkiksi muutamia vuosia sitten. Oikein kohdistettuun ja säännölliseen koulutukseen sekä osaamisen ylläpitoon onkin syytä panostaa pientalorakentamisessa myös tulevaisuudessa.

Ammattitaito pientalotyömailla vaikuttaa olevan hyvällä tasolla energiatehokkaiden rakenteiden toteutukseen, mutta havaintojen perusteella ei suunnitelmapuutteita tai tarvetta lisäsuunnitelmille tunnisteta työmailla vielä tarpeeksi hyvin. Koulutusta tarvitaan myös tässä asiassa ja työmaahenkilöstölle on tärkeää korostaa, että Energiatehokkaassa rakentamisessa ei mitään rakenteita tai detaljeja saa tehdä ilman suunnitelmia. Vaikka osaamista löytyisi, ei hyväksi havaittu ja ennen toiminut tapa välttämättä sovi yhteen uudenlaisten rakenteiden kanssa. Epäselvät detaljit eivät saa jäädä työntekijöiden ratkaistavaksi, vaan tällaisissa tapauksissa tulee työmaan aina ottaa yhteyttä suunnittelijaan.

Työmaan kosteudenhallinnan parantaminen vaatii koulutuksen ja valvonnan mahdollisen tehostamisen lisäksi myös suunnitelmallista kosteudenhallinnan kehittämistä. Pientalotyömailla ei rakentamisen kertaluontoisuuden ja pienimuotoisuuden vuoksi kosteudenhallintasuunnitelman rooli ole yhtä merkittävä kuin esimerkiksi suurilla kerrostalotyömailla. Pientalotyömailta pyydetään kyllä kosteudenhallintasuunnitelma, mutta se voi jäädä pelkästään muutoseikaksi ja säilyä muuttumattomana työmaalta toiselle. Voi myös käydä niin, ettei kosteudenhallintasuunnitelma koskaan edes päädy työmaalle saakka. Onkin tärkeää, että kosteudenhallintasuunnitelma jalkautetaan työmaalle ja että toteuttajat sisäistävät suunnitelman merkityksen sekä siellä mainitut ohjeet ja vaatimukset.

Kosteudenhallintasuunnitelmasta olisikin hyvä löytyä erityisesti työmaalle suunnattu osio, joka sisältäisi konkreettisia toimenpiteitä ja edellytyksiä esimerkiksi rakennusmateriaalien suojauksesta. Suunnitelmassa esitettyjen ohjeiden ja vaatimusten tason sekä esitystavan tulisi olla sellainen, että työmaan kosteudenhallinnan toimenpiteet kyettäisiin tekemään oikein käymällä osio kohta kohdalta lävitse. Tärkeämpää kuin aukottoman kosteudenhallintasuunnitelman laatiminen kuitenkin on, että pienelläkin työmaalla nimettäisiin työmaan aloituskokouksessa vastuuhenkilö suojaustoimenpiteiden suorittamiseen. Vastuuhenkilön avulla varmistetaan kosteudenhallintatoimenpiteiden toteuttaminen ja se, että mahdollisten kosteudenhallintapuutteiden ilmetessä saadaan ongelmiin johtaneet syyt ratkaistua ja tilanne korjattua hyvin nopeasti.

Pientalotyömaiden laadunvalvontaa ja ammattikuntien välistä yhteistyötä olisi ehkä syytä tehostaa energiatehokkaampaan rakentamiseen siirryttäessä. Nykyisellään LVIS- ja rakennussuunnitelmat sekä niiden toteutus ovat liiaksi erillään toisistaan. Hybridilämmitysjärjestelmät, älykkäät sähköjärjestelmät ja muut energiatehokkuuden mukanaan tuomat innovaatiot vaativat kuitenkin yhä enemmän ammattikuntien välistä yhteistyötä ja tiedonkulkua. Pientalorakentamiselle on lisäksi tyypillistä, että työntekijät työskentelevät työmaalla hyvin omatomaisesti ja että ulkopuoliset aliurakoitsijat ovat työmaalla usein yksinään. Tästä johtuen mahdolliset työvirheet voivat jäädä kokonaan huomaamatta.

Työmaalla työskentelevät osaavat asiansa, mutta toisten rakentamisen toteuttajaosapuolien työn laadun tarkkailu ei automaattisesti kuulu kenenkään työnku-

vaan, eikä mahdollisia laatupuutteita ehkä edes oivalleta. Vaikka tarkkailukoh-teissa ei havaittukaan suoraan riittämättömästä tai puutteellisesta valvonnasta tai heikosta tiedonkulusta aiheutuvia ongelmia, uudet rakenteet ja materiaalit vaativat ainakin käyttöönoton alkuaikoina paljon uuden opettelua, jolloin on tärkeää, että toteutuksen kaikkia osatekijöitä tarkkaillaan jatkuvasti.

Pientalotyömailla ei kuitenkaan ole yleensä järkevää, että vastaava työnjohtaja tai ulkopuolinen laaduntarkkailija on työmaalla paikalla jatkuvasti. Laadunvalvonnan tehostamiseen voisivatkin toimivana ratkaisuna olla työmaan tarkastuslistat, joiden avulla työntekijät voisivat itse valvoa toteutuksen laatua. Tarkastuslista voisi olla esimerkiksi yhden sivun mittainen, rasti ruutuun -periaatteella toimiva, etukäteen määriteltä työmaa-asiakirja, johon on koottu tärkeimmät kohdat kriittisten toteutusvaiheiden laadun varmistamiseksi. Työsuorituksen valmistuttua käy toteuttaja tarkastuslistan kohdat lävitse ja allekirjoituksellaan varmistaa laadun toteuttamisen omalta osaltaan, ennen vastaavan työnjohtajan tarkistusta. Detaljeja, tiivistysratkaisuja ja muita tärkeitä yksityiskohtia voitaisiin tarvittaessa myös valokuvata tarkastuslistojen yhteyteen. Jokaiselle keskeiselle osa-alueelle voitaisiin myös nimetä työmaan aloituskokouksessa vastuuhenkilöt sekä käydä kaikkien osapuolien kanssa selkeästi lävitse työmaalla käytettävät menettelytavat ja yhteydenpitokeinot.

Oman työsuorituksen laadun arviointia toteutetaan työntekijöiden toimesta varmasti ihan luonnostaankin, mutta tarkastuslistojen avulla varmistettaisiin, että jokaista laatutekijää on ainakin mietitty toteutuksen yhteydessä sekä saataisiin työntekijöiden laadunvalvontatoimet dokumentoitua. Energiatehokkaassa rakentamisessa on toteutuksen laadulla niin suuri merkitys, että mahdollisimman kattavat ja yksityiskohtaiset laadunvalvonta-asiakirjat ovat tärkeitä myös rakennuksen elinkaarta ja mahdollisia myöhemmin esiin tulevia ongelmia ajatellen.

Ajatus työmaan tarkastusasiakirjoista ei ole uusi ja esimerkiksi Pientalotyömaan valvonta ja tarkastusasiakirja -teoksessa esitellään rakennushankkeeseen ryhtyvän tarkastuslista, jossa käydään lävitse kaikki rakennusvaiheen merkittävimmät osa-alueet (52). Asiakirja ei sellaisenaan ole täysin käyttökelpoinen energiatehokkaan pientalotyömaan työntekijöiden omatoimiseen laadunvalvontaan, mutta ajatusta jalostamalla voitaisiin rakennusliikkeissä kehittää sopivia,

määrämuotoisia laaduntarkastuslistoja jokaiselle tärkeälle toteutusvaiheen työsuoritukselle.

Työntekijöiden suorittamasta laadunvalvonnasta ja mahdollisesta tarkastuslistojen käytöstä tiedusteltiin myös Energiatehokkuuskortteliin rakentavilta yrityksiltä, mutta vastauksia ei ehditty tähän työhön kaikilta saada. Tämänhetkisten tietojen ja tarkkailujaksolla saatujen havaintojen perusteella ei erillisiä tarkastuslistoja työmailla käytetty.

7 POHDINTA

Pientalorakentaminen kehittyy jatkuvasti energiatehokkaampaan suuntaan, mikä tarkoittaa eristävempien vaipparakenteiden suunnittelua, kehittyviä rakennus- ja materiaaliratkaisuja sekä uudenlaista talotekniikkaa. Paksummat, energiatehokkaat rakenteet yhdistettynä ilmastonmuutokseen heikentävät rakentamisen vikasietoisuutta, mikä tarkoittaa ehdotonta vaatimusta työmaatoteutuksen virheettömästä lopputuloksesta. Olennainen kysymys onkin, onko rakentajilla riittävää osaamista ja ymmärrystä toteuttaa uudet suunnitelmat työmaalla ilman vaaraa rakenteiden kosteusvaurioriskeistä tai tavoitellun energiatehokkuuden heikentymisestä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli saada näkökantaa siihen, millä tasolla energiatehokkaiden pientalojen toteutuksen laatu nykyisellään on ja onko tämänhetkinen osaamisen taso riittävä energiatehokkaiden rakenteiden riskittömään toteutukseen. Tarkoituksena oli saatujen tulosten pohjalta myös pohtia, tarvitaanko toteutusvaiheeseen lisää koulutusta, valvontaa tai laadunvarmistustoimenpiteitä, jotta energiatehokkaan rakentamisen vaaditut laatukriteerit täyttyvät.

Kysymyksiin etsittiin vastausta tarkkailemalla energiatehokkaiden pientalojen työmaatoteutusta ja arvioimalla talojen rakentamisen laatua. Työ toteutettiin osana Pohjoismaista IEEB-hanketta, jonka puitteissa rakennettiin Ouluun energiatehokkaiden pientalojen Energiatehokkuuskortteli. Neljää korttelin pientaloa käytettiin työmaatoteutuksen havainnointikohteina ja seurattiin näiden talojen rakentamista vieraillemalla työmailla säännöllisesti sekä dokumentoimalla rakentamisen etenemistä projektin sisäisen blogin muodossa. Ennen tarkkailujakson aloittamista perehdyttiin energiatehokkaan rakentamisen tärkeimpiin teknisiin laatutekijöihin sekä niiden virheettömän työmaatoteutuksen edellytyksiin.

Tarkkailujaksolla havaittiin, että työmaahenkilöstön osaamistaso on hyvä, eikä työntekijöillä ole vaikeuksia toteuttaa uusia rakenteita virheettömästi toteutussuunnitelmia noudattaen. Lämmöneristyksen, kylmäsiltojen minimoinnin ja rakennuksen ilmanpitävyyden tärkeys on pientalotyömailla tiedossa ja näihin teki-

jöihin panostetaan toteutuksessa riittävästi. Työmaan kosteudenhallinnassa sen sijaan havaittiin olevan vielä kehitettävää, jotta hyvin energiatehokkaita rakenteita voidaan toteuttaa turvallisesti ilman vaurioriskejä. Myös työmaan laadunvalvontaa on luultavasti syytä tehostaa ja kehittää vastaisuudessa.

Ehkä selkein tarkkailujaksolla tehty havainto oli, että kosteudenhallinnan merkitystä pientalon rakennushankkeessa ei edelleenkään täysin ymmärretä tai pidetä tarpeeksi tärkeänä. Työmailla on ehkä totuttu siihen, että sade, lumi ja jää ovat aina olleet osa rakentamisvaihetta ja tulevat olemaankin. Kosteudenhallinnan epäonnistumisesta ei myöskään tule välitöntä palautetta suojauksen laiminlyöneelle työntekijälle – ongelmat näkyvät tyypillisesti vasta vuosien päästä rakennuksen valmistumisesta. Tähän asiaan on erittäin tärkeää puuttua, sillä energiatehokas rakentaminen vaatii toteuttajilta sitoutumista ja päämäärätietois- ta toimintaa työmaalla myös olosuhdehallinnan osalta.

Havainnointikohteiden kosteudenhallintaongelmat saivat myös pohtimaan, millä tasolla tavanomaisten pientalotyömaiden kosteudenhallinta on: puutteita havaittiin nytkin, vaikka rakennuttajayrityksillä oli tiedossa, että kohteita tarkkaillaan tavanomaista tiiviimmin. Myös työnaikaisen laadunvalvonnan riittävyys herättää kysymyksiä. Energiatehokkuuskorttelin kohteissa kaikki rakentaminen sujui mallikkaasti, yllättäviä ongelmia ei tullut vastaan ja asentajaryhmät olivat kokeneita. Toisaalta taas lähes kaikki rakenteet olivat tavanomaisia ja työmenetelmät työntekijöille entuudestaan tuttuja. Erikoiset rakenneratkaisut, uudet toteutusmenetelmät ja kokemattomampi asennusryhmä voivat muuttaa tilannetta paljonkin ja työmaan laadunvalvonnan tarve on huomattavasti suurempi.

Suunnitelma- tai valvontapuutteet ennen rakentamisen aloittamista ja työn aikana voivat johtaa siihen, että ongelmakohdissa päätökset loppujen lopuksi tekee työmaan työntekijä. Jos työn laatua ei valvota eikä työnjohtoa ole paikalla, tehdään ratkaisut yleensä helpoimmalla tavalla. Voi myös käydä niin, että suunnitelmissa huomataan virhe tai tiedostetaan ongelma, mutta toteutusvaiheessa on kiire ja työt tehdään suunnitelmien mukaisesti kaikesta huolimatta. Urakoiden pilkonta ja vastualueiden epäselvyys voivat myös aiheuttaa tulevaisuudessa nykyistä enemmän ongelmia, erityisesti talotekniikan vaihtelevuuden lisääntyessä. Kokonaisuuksien hallinta ja saumaton tiedonkulku luultavasti korostuvat-

kin pientalorakentamisessa jatkossa uudella tavalla ja voi olla, että tulevaisuudessa pientalorakentaminen siirtyy lähemmäs suurien työmaiden käytäntöjä esimerkiksi aloitus- ja työmaakokouksien sekä laadunvalvonnan dokumentoinnin osalta.

Opinnäytetyössä pyrittiin keräämään hyvä tietopohja tyypillisempien pientaloissa käytettävien rakenteiden laadukkaasta toteutuksesta ja toteutuksen mahdollisista ongelmista. Koostettu tietopohja ja havaintomateriaali ovat suhteellisen kattavat ja antavat hyvän mielikuvan pientalotyömaiden toteutuksen laatutasosta ja mahdollisista ongelmakohdista. Opinnäytetyö on IEEB-hankkeen lisäksi luultavasti tarpeellinen myös Energiatehokkuuskortteliin rakentaneille yrityksille, sillä talotoimittajilla on harvoin tilaisuus saada materiaalia kohteidensa toteutuksesta objektiivisen tarkkailun tuloksena. Aineiston avulla yritykset ehkä löytävät hyviä kehityskohtia omien työmaidensa toiminnan jalostamiseksi.

Laaduntarkkailujaksolla saatuja tuloksia tulkittaessa on tärkeää tiedostaa, että saadut havainnot on kerätty vierailemalla työmailla satunnaisesti yhdestä kolmeen kertaan viikossa. Tarkkailumenetelmästä johtuen ei ole voitu saada täydellistä kuvaa työmaan toiminnasta. Tällä tavoin toteutetulla seurannalla ei myöskään pystytä täydellä varmuudella sanomaan, korjattiinko havaittuja puutteita myöhemmin tai oliko työmaan yleinen laatutaso huonompaa tai parempaa vierailujen ulkopuolella. Tarkkailu myös koskee vain hyvin pientä otosta pientalorakentamisesta. Tuloksia voi vääristää lisäksi se tosiasia, että tarkkailukohteet ovat tulleet olevansa erityisvalvonnan alla IEEB-hankkeeseen kuuluessaan; tieto tarkemmasta valvonnasta varmasti vaikuttaa ainakin jonkin verran toteutuksen laatutasoa nostavasti. Saatujen havaintojen luotettavuutta kuitenkin parantaa se, että työmaavierailujen ajankohtia ei ollut sovittu etukäteen ja että korttelissa vierailtiin myös työaikojen ulkopuolella. Tarkkailujakson pitkäkestoisuus myös mahdollisti kohteissa havaittujen onnistumisten tai epäonnistumisten toistuvuuden ja pysyvyyden arvioinnin.

Heijastettaessa saatuja havaintoja energiatehokkaiden rakennusten toteuttamiselta vaadittuun laatutasoon on huomionarvoinen asia, että vaikka kaikki tarkkailukohteet ovatkin energiatehokkaita pientaloja, eivät kaikkien talojen rakeneratkaisut ole lämmöneristävyydeltään tavanomaisia pientalorakenteita pa-

rempiä tai toteutustavoiltaan poikkeavia. Olisikin tarpeen tarkkailla myös erittäin energiatehokkaiden rakenteiden työmaatoteutusta. Tässä työssä tarkkailtujen kohteiden seurantaan tullaan jatkamaan IEEB-hankkeen ja muiden jatkoprojektien puitteissa etenkin rakenteiden kosteuden osalta, jotta saadaan selville, miten toteutus toimii käytännössä. Tarkkailukohteista myöhemmässä vaiheessa saatavia kosteustuloksia ja energiankulutusarvoja on tarpeen myös vertailla tässä työssä saatuihin havaintoihin. Olisi kiinnostavaa tietää, miten esitettyjen mahdollisten tarkastuslistojen käyttäminen vaikuttaisi toteutuksen laatuun, sillä sitä ei tässä työssä päästy tutkimaan.

Laaduntarkkailujakso ja laatutekijöiden moninaisuus herätti myös mietteitä pientalojen rakentamisen vastuukysymyksistä. Rakentamisen laadun kokonaiskuvan hahmotus ei ole helppoa, sillä siihen vaikuttavat niin monet tekijät. Rakennushankkeeseen ryhtyvällä, eli yleensä pientalon tulevalla omistajalla, on suurin vastuu rakentamisesta ja sen laadusta, vaikka rakennuttaja lähes aina on pientalohankkeessa huonoimmin rakennusalaan tunteva henkilö. Jos rakennuttaja ei esimerkiksi ymmärrä edellyttää kuivaa rakentamistapaa, ei se välttämättä toteudu. Energiatehokkaassa rakentamisessa pääsuunnittelijan ja pääurakoitsijan vastuita voitaisiin kenties kasvattaa, jolloin asenteet suunnitelmien ja toteutuksen mahdollisten laatupuutteiden valvontaan ja korjaamiseen varmasti kohenisivat. Pidemmät takuuajat ja työn toteuttajien voimakas vastuuttaminen kannustaisivat rakennusurakoitsijoita miettimään toteutuksen lisäksi vieläkin tarkemmin sitä, kuinka luetettavasti rakennus toimii jatkossa käytön aikana.

Opinnäytetyön toteuttamisen suurimmaksi haasteeksi muodostui havaintokohteiden määrä ja rakenteiden vaihtelevuus. Neljän erilaisilla runkoratkaisuilla toteutetun pientalon tarkkailu vaatii laajan lähtötietoaineiston keräämisen ja huolellisen perehtymisen kohteiden rakenneratkaisuihin. Yritykset aloittivat lisäksi rakentamisen eri aikoihin, mikä pidensi opinnäytetyön aikataulua. Kaikki neljä kohdetta kuitenkin päätettiin ottaa mukaan tarkkailuun, sillä IEEB-hankkeen tavoitteiden kannalta oli tärkeää, ettei yhtäkään pientaloa jätetty tarkkailun ulkopuolelle. Kaikki runkoratkaisut kattava teoriaisuus ja havainnointijakson pituus mahdollistavat tämän opinnäytetyön hyödyntämisen hankkeessa parhaalla mahdollisella tavalla.

Tarkkailujakson toteuttamiselle ja raportointityön tekemiselle aiheutti oman haasteensa myös se, että jokainen tarkkailukohde rakennettiin eri yrityksen toimesta. Heti työn alkuvaiheessa nousi esiin kysymys siitä, antavatko tarkkailun aikana tehdyt epäsäännölliset työmaavierailut mahdollisesti väärän kuvan talo-toimittajien tuotannosta tai mahdollistaako opinnäytetyön toteuttaminen yritysten vertailun keskenään väärällä tavalla. Ongelma ratkaistiin esittelemällä kaikki tarkkailukohteet nimettöminä, ilman rakennekuvia sekä mahdollisuuksien mukaan kohdistamatta saatuja lopputuloksia tiettyyn pientaloon. Menettely rajoitti tulosten raportointia jonkin verran ja asetti tarkempia vaatimuksia opinnäytetyöraportin kirjoitusasulle sekä työssä käytettävien kuvien valinnalle. Mukana olleille yrityksille tarjottiin kuitenkin myös mahdollisuus kuulla tarkkailujakson aikana omasta kohteestaan kerätyt havainnot ja päätelmät yksityiskohtaisesti, mikä mahdollistaa hyvinkin tarkan analysoinnin mahdollisista toteutusvaiheen kehitystarpeista. Yritykset myös saavat kaikki omasta kohteestaan työmaatoteutuksen aikana otetut valokuvat itselleen.

Huolimatta vastaan tulleista haasteista, onnistuttiin opinnäytetyön toteutuksessa odotetulla tavalla ja saatiin kerättyä paljon materiaalia työmaatoteutuksen laatu-tekijöistä ja ongelmakohdista, joihin ehkä tulevaisuudessa voidaan keskittää lisää tutkimusta. Opinnäytetyön tekeminen oli hyvin mielenkiintoista ja antoisaa, sillä jo pelkästään kattavan lähtötietomateriaalin kerääminen työn toteuttamiseksi tarjosi erinomaisen mahdollisuuden tutustua syvemmin energiatehokkaan rakentamiseen, viimeisimpiin lakimuutoksiin sekä työmaatoteutuksen kohtaamiin haasteisiin. Tarkkailujakson aikana saatu kokemus ja tietotaito ovat varmasti tarpeellisia myös tulevaisuudessa, sillä energiatehokas rakentaminen tulee olemaan tulevien vuosien aikana erittäin ajankohtainen aihe.

LÄHTEET

1. Vinha, Juha 2012. Matalaenergiarakentamisen haasteet rakenteiden toimintaan. Energiaosaaminen rakennustyömaalla -työpaja 2012. Alustus 24.5.2012. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/5978/Matalaenergiarakentamisen_haasteet_Juha_Vinha.pdf. Hakupäivä 13.3.2013.
2. Rigatelli, Sara 2013. Energiatehokkuus suututtaa rakentajia - ”maailmanparannus mennyt terveyden edelle”. Yle Uutiset 18.2.2013. Saatavissa: http://yle.fi/uutiset/energiatehokkuus_suututtaa_rakentajia_-_maailmanparannus_mennyt_terveyden_edelle/6501528. Hakupäivä 20.2.2013.
3. Energiatehokkuuskortteli-esite. Oulun seudun ammattikorkeakoulu - Oulun kaupungin rakennusvalvonta. Ei julkaisutietoja.
4. Lappalainen, Markku 2010. Energia- ja ekologiakäsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen. Tampere: Rakennustieto Oy.
5. Euroopan unionin virallinen lehti C 115. 2012. Suomenkielinen laitos. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2012:115:FULL:FI:PDF>. Hakupäivä 2.2.2013.
6. Matinkauppi, Kirsi (toim.) 2010. ERA 17. Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. Helsinki: Ympäristöministeriö, Sitra & Tekes.
7. 2010/31/EU. 2010. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta. Saatavissa: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF>. Hakupäivä 7.12.2012.
8. Uusien rakennusten energiamääräykset 2012. 2011. Ympäristöministeriön tiedotustilaisuuden kalvot 30.3.2011. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=126212&lan=fi>. Hakupäivä 24.2.2013.

9. Kurnitski, Jarek 2012. Energiamääräykset 2012. Opas uudisrakennusten energiamääräysten soveltamiseen. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.
10. Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu. 2011. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=380376&lan=fi&clan=fi>. Hakupäivä 1.3.2013.
11. RIL 249–2009. 2009. Matalaenergiarakentaminen. Asuinrakennukset. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
12. Nieminen, Jyri – Jahn, Jenni – Airaksinen, Miimu. 2007. North Pass D17 – Hyvin energiatehokkaan talon ratkaisut Pohjois-Euroopassa. Promotion of European Passive Houses. Saatavissa: http://northpass.ivl.se/download/18.13f10919137472a032180008103/1337340990202/NorthPass_D17-Hyvin+energiatehokkaan+talon+ratkaisut+Pohjois-Euroopassa.pdf. Hakupäivä 18.2.2013.
13. Suomen RakMK D3. 2010. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2010. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
14. Suomen RakMK D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
15. Lahdensivu, Jukka – Suonketo, Jommi – Vinha, Juha – Lindberg, Ralf – Manelius, Elina – Kuhno, Vesa – Saastamoinen, Kari – Salminen Kati – Lähdesmäki, Kimmo 2012. Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnittelu- ja toteutusohjeita. Tutkimusraportti 160. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos.
16. Ala-Outinen, Tiina – Harmaajärvi, Irmeli – Kivikoski, Harri – Kouhia, Ilpo – Makkonen, Lasse – Saarelainen, Seppo – Tuhola Markku – Törnqvist Jouko 2004. Ilmastomuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. VTT Tiedotteita 2227. Espoo: VTT.

17. Teknisen lautakunnan päätös 1047/631/2011. 2011. Omakotitalotonttien varaaminen ja vuokraaminen Pohjois-Ritaharjusta; Energiakortteli / IEEB-projekti; liite. Saatu käyttöön Oulun rakennusvalvonnalta vuonna 2013.
18. IEEB-viikkopalaveri. 2012. Muistio kokouksesta 17.12.2012. Sisäinen lähde.
19. Oulu Energy Efficiency Quarter. 2012. Optima-oppimisympäristö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
<https://optima.oamk.fi/learning/id6/bin/user?rand=31098>. Sisäinen lähde, vaatii kirjautumisen. Hakupäivä 24.7.2012.
20. Ohjeet Intello-höyrynsululle. 2012. Tiivistalo. Saatavissa:
<http://www.tiivistalo.fi/docs/intello.pdf> Hakupäivä 9.8.2012.
21. Vinha, Juha 2011. Rakennusfysiikka 2011. RTEK-3511. Luentomoniste 2011 Osa 1. Tampere; Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos.
22. Pakkanen, Tomi 2011. Sisäisen konvektion vaikutus yläpohjan lämmöneristävyyteen. FRAME-projektin päätösseminaarin esitys 8.11.2012. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/idcprod/groups/public/@l102/@web/@p/documents/liit/p034328.pdf>. Hakupäivä 12.2.2012.
23. Huttunen, Petteri 2012. Sisäisen konvektion vaikutus lämmönläpäisykertoimeen huokoisella lämmöneristeellä eristetyissä ulkoseinissä. FRAME-projektin päätösseminaarin esitys 8.11.2012. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/idcprod/groups/public/@l102/@web/@p/documents/liit/p034327.pdf>. Hakupäivä 12.2.2012.
24. Peuhkuri, Ruut 2012. B.8. Site Supervision and Quality Assurance. T514206 Talonrakennustekniikan vaihtuva opintojakso 4, CEPH 6 op. Opintomateriaali syksy 2012. Passivhaus Institute 2009. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

25. Mäki, Tarja – Koskenvesa, Anssi – Sahlstedt, Satu 2008. Rakennustöiden laatu 2009. Helsinki: Rakennustieto Oy.
26. Lausunto rakenteiden energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksesta rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. 2008. Tutkimusselostus nro VTT-S-10816-08. Espoo: VTT. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=96145&lan=FI>. Hakupäivä 18.1.2013.
27. Isover RKL-31 Facade. 2013. Saatavissa:
<http://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/tuulensuojaeristeet/2563/isover-rkl-31-facade>. Hakupäivä 2.1.2013.
28. Eristeharkot. 2012. Saatavissa:
<http://kivitaloinfo.fi/materiaalit/harkot/kevytsoraharkot/eristeharkot/>. Hakupäivä 14.12.2012.
29. Huotari, Olli 2012. Hirsitalon energiatehokkuus. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: <http://publications.theseus.fi/handle/10024/45651>. Hakupäivä 14.2.2012.
30. Isover Tuulenohjain. 2013. Saatavissa:
<http://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/puhallusvilla/2537/isover-tuulenohjain>. Hakupäivä 17.10.2012.
31. Peuhkuri, Ruut 2012. C 1.3 Building services – Ventilation: Component planning. T514206 Talonrakennustekniikan vaihtuva opintojakso 4, CEPH 6 op. Opintomateriaali syksy 2012. Passivhaus Institute 2009. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
32. Suomen RakMK D2. 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
33. Vallox-ilmanvaihdon suunnittelu- ja asennusohje. 2010. Saatavissa:
http://www.vallox.com/tiedostot/4/documents/Esitteet_FI/SUUNN_iv.pdf. Hakupäivä 24.2.2013.

34. Peuhkuri, Ruut 2012. B.4 Thermal-bridge-free designing. T514206 Talonrakennustekniikan vaihtuva opintojakso 4, CEPH 6 op. Opintomateriaali syksy 2012. Passivhaus Institute 2009. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
35. Energiatehokas asuminen - kirja fiksusta asumisesta. Isover Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. Ei julkaisutietoja.
36. Suomen RakMK C4, luonnos. 2012. Lämmöneristys. Ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
37. RT 41-10947. 2009. Puu- ja puualumiini-ikkunat sekä niiden asennus. Rakennustieto Oy.
38. Vinha, Juha – Korpi, Minna – Kalamees, Targo – Jokisalo, Juha – Eskola, Lari – Palonen, Jari – Kurnitski, Jarek – Aho, Hanna – Salminen, Mikko – Salminen, Kati – Keto, Matias 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tutkimusraportti 140. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos.
39. RIL 107-2012. 2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
40. Jaakkola, Sami 1997. Puukerrostalon ilmanpitävyyden ja rakennustyön toteutuksen rakennusfysikaalinen merkitys. Diplomityö. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja ympäristötekniikan osasto.
41. Vinha, Juha – Käkelä, Pasi 1999. Vesihöyryn siirtyminen seinärakenteissa diffuusion ja konvektion vaikutuksesta. Julkaisu 96. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikka.
42. Aho, Hanna – Korpi, Minna (toim.) 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tutkimusraportti 141. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos.
43. Peuhkuri, Ruut 2012. B.3 Airtightness. T514206 Talonrakennustekniikan vaihtuva opintojakso 4, CEPH 6 op. Opintomateriaali syksy 2012. Passivha-

us Institute 2009. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

44. Suomen RakMK C2. 1998. Kosteus. Määräykset ja ohjeet 1998. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
45. Palolahti, Tuomas – Mäki, Tarja – Tikanoja, Timo – Sundström, Joni – Mattila, Petri 2010. Harkkokäsikirja – Kevytsoraharkot ja betoniharkot. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy. Saatavissa:
http://www.hb-betoni.fi/hb/media/hb_betoni/esitteet_fi/piha__ja_harkkotuotte/harkkokasikirja/?__EVIA_MEDIA_PATH_DOWNLOAD. Hakupäivä 10.2.2013.
46. RIL 250-2011. 2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
47. Työmaan suojaaminen kosteudelta. 2011. Kosteus- ja hometalkoot koulutuskierroksen materiaalit ammattilaisille, PowerPoint-esitys ”Omakotitalotömaan kosteuden hallinta, materiaalien ja rakenteiden suojaus, kuivatus” Saatavissa: <http://uutiset.hometalkoot.fi/talkootiedot/viestinta/tapahtumia-talkoiden-tiimoilta/kosteus-ja-hometalkoot-koulutuskierroksen-materiaalit.html>. Hakupäivä 10.3.2013.
48. Teriö, Olli – Koskenvesa, Antti 2012. Rakennusprosessin aikainen kosteuden hallinta. FRAME-projektin yleisöseminaarin esitys 21.6.2011. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. Saatavissa: <http://www.rakennusteollisuus.fi/frame>. Hakupäivä 12.2.2012.
49. Maankäyttö- rakennuslaki. L 5.2.1999/132 muutoksineen. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>. Hakupäivä 23.3.2013.
50. Suomen RakMK A2. 2002. Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat. Määräykset ja ohjeet 2002. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.

51. Suomen RakMK A1. 2006. Rakentamisen valvonta ja tekninen tarkastus. Määräykset ja ohjeet 2006. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
52. Pientalotyömaan valvonta ja tarkastusasiakirja. 2003. Ympäristöopas 76. 5. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.